علم وتكنولوجيا الألبان

Dairy Science and Technology

Second Edition

تأليف

Pieter Walstra
Jan T.M.Wouters
Tom J.Geurts

ترجمة

أ.د. زينب هارون محمد التارقي
Zeinab, H.M. Al.Targi

أ.د. رفعت غريب أبو العلا
Refaat Gharieb Abou Elela

مراجعة

أ.د.فهيم عبد الكريم بن خيـال

أ.د.أبو القاسم المبروك عكاشة

منشورات
جامعة عمر المختار
البيضاء



اسم الكتاب : علم وتكنولوجيا الألبان

اسم المؤلف : زينب هارون محمد التارقي – رفعت غريب أبو العلا

رقم الإيداع : 2017/267م

دار الكتب الوطنية بنغازي – ليبيا



منشورات
جامعة عمر المختار
البيضاء

الترقيم الدولي

ردمك ISBN 978-9959-81-075-5

حقوق النشر

Dairy Science and Technology English Second Edition
Pieter Walstra
Jan T.M. Wouters
Tom J.Geurts

CRC press an imprint of the Taylor & francis
Group,an informa business
6000 Broken sound parkuley Nw,suite 300
Boca Raton, FL 33487-2742

مقدمة الطبعة العربية

تعتبر الترجمة جسراً بين الثقافة العربية والغربية ولها دور هام للارتقاء بمستوى العلوم والثقافة في الوطن العربي ، وهي وسيلة هامة من وسائل الاطلاع على العلم والانفتاح عليه ، ويرجع الفضل في التقدم العلمي الذي ينعم به الغرب اليوم إلى الصحوة العلمية في الترجمة التي عاشتها في القرون الوسطى ، فقد كانت المراجع في العلوم العلمية والاجتماعية هي الكتب المترجمة عن العربية لابن سيناء وابن الهيثم والفارابي وابن خلدون وغيرهم من عمالقة العرب ، ولم ينكر الأوروبيون ذلك بل سجل تاريخهم ما ترجموه عن حضارة الفراعنة والعرب والإغريق ، وتاريخ العرب شاهد على أن ترجماتهم للمدونة الإغريقية القديمة هي التي جعلتهم يتصدرون المسيرة الحضارية بقرون طويلة وأن ذخيرة معارفهم وعلومهم هي التي جعلت الأوربيين يتقدمون المسيرة البشرية فيما بعد .

والترجمة الدقيقة هي إحدى مصادر المعرفة ، ويعد تعريب هذا الكتاب إضافة علمية كبيرة للمكتبة العربية والتي تفتقر إلى التراجم الحديثة في مجال علم الألبان ، وقد تم اختيار علم وتكنولوجيا الألبان لما يتمتع به هذا الكتاب من أسلوب علمي شيق وطريقة ميسرة ومادة علمية غزيرة متكاملة وهو من أقوى المراجع الأجنبية الحديثة التي تضاف إلى هذا العلم ، ونرجو أن نكون قد وُفقنا في تقديم ترجمة رفيعة المستوى لكتاب علمي هام يثري المكتبة العلمية العربية .

المترجمان

مقدمة الطبعة الأجنبية

الغرض الأساسي لهذا الكتاب هو التحويل الفعال للبن إلى منتجات عالية الجودة ، وتتطلب هذه الاحتياجات معرفة عالية لمكونات وخواص اللبن ، وللتغيرات التي تحدث له ولمنتجاته أثناء العمليات التصنيعية وأثناء التخزين ، وبالإضافة إلى ذلك يكون الإلمام بالعوامل التي تحدد نوعية المنتج شاملة الجوانب الصحية ومدة التخزين غاية في الأهمية ، مع التركيز على الأسس الطبيعية ومواصفات المنتج لأنها تتغير بشكل واسع .

كُتب الكتاب لطلاب الجامعة الدارسين لعلم وتكنولوجيا الغذاء ، ولكنه أيضاً يعتبر كتاباً مرجعياً ويفترض أن يكون القارئ معتاداً على الاطلاع على كيمياء الغذاء وعلم الكائنات الدقيقة وعلم الهندسة ، وقد تم مناقشة عدة جوانب أساسية رأينا أنها تساعد القراء غير الملمين بصورة كافية لهذه الجوانب ، ويلاحظ أن الكتاب لا يحتوي على مراجع دراسات سابقة ، ولكنه قدم اقتراحات لقراءات إضافية تعزز هذا الغرض .

يتكون الكتاب من أربعة أجزاء أساسية ، هي الجزء الأول "اللبن ***Milk***" وهذا الجزء يعالج كيمياء وفيزياء وميكروبيولوجيا اللبن ، بجانب تقديم معلومات عن خصائص اللبن نفسه ، حيث تكون الأساس لفهم ماذا يحدث أثناء التصنيع والتجهيز والتداول والتخزين . أما الجزء الثاني "العمليات ***Processes***" فيناقش وحدة العمليات الرئيسية المستخدمة في تصنيع المنتجات اللبنية ، وقد تم معالجة ذلك بالتفصيل وخاصة تأثير المتغيرات التي تحدث للمواد الوسيطة على المنتج النهائي الناتج ، وقد تم مناقشة عمليات قليلة عالية التخصص مثل عملية الخض في فصول المنتج . وفي الجزء الثالث "المنتجات ***Products***" فقد تم تغطية تكامل المعلومات عن المادة الخام والعمليات التصنيعية بغرض تصنيع عدة منتجات ، وحيث أن عدد المنتجات اللبنية المصنوعة كبير ، فقد تم اختيار بعض مجموعات منها لأهميتها العامة أو لتوضيح الجوانب وثيقة الصلة بالموضوع ، وقد تم أيضاً في هذا الجزء ذكر العمليات اللازمة للتأكيد على سلامة المستهلك ونوعية المنتج وكفاءة العمليات التصنيعية . أما الجزء الرابع "الجبن ***Cheese***" فقد تم فيه وصف العمليات والتحويلات

الفيزيائية والكيميائية الحيوية والميكروبية اللازمة لإنتاج ونضـــج الجبن ، وهنا تكون هذه العمليات متخصـصـة للغاية وتكون التفاعلات معقدة ، ولذلك تكون الحاجة لمعاملات منفصـلة ومتكاملة ، تبدأ هذه المعاملات بالجوانب العامة وبعد ذلك نناقش المجموعات الخاصة بالأجبان .

تم إدخال تغيرات عديدة هامة في هذه الطبعة الثانية ، وكانت أســـباب ذلك هي ، أولاً تحســين النوعية الفنية للكتاب ، وثانياً لجعله أكثر فائدة كمصـــدر مرجعي . عولجت جوانب عامة وأساسية ، وخاصةً الجوانب الكيميائية والفيزيائية والميكروبية . الجزء الأول تم توسيعه وزيادته بصورة جوهرية ، وهذا أحد الأســـباب التي أدت إلى جعل عنوان الكتاب أكثر رحابة ، وقد تم إضـــافة الجوانب الغذائية لمكونات اللبن وتم زيادة بعض المنتجات وإضـــافة جزء عن تكوين اللبن . وبالطبع تم تحديث متن الكتاب بالإضـــافة إلى أن بعض الأجزاء تم إعادة كتابتها وإعادة ترتيبها . معلومات حقيقية تم إضافتها وأجزاء تم تحويلها للملحق .

بيتر والسترا

جان وتيرز

توم جيرتز

واجينينجين ، هولاندا

Wageningen, The Netherlands

المحتويات

الجزء الأول ، اللبن Part I Milk

الفصل الأول : اللبن : الصفات المميزة Milk , Main Characteristics

الفصل الثاني : مكونات اللبن Milk Components

الفصل الرابع : خواص اللبن Milk Properties

الفصل الخامس : ميكروبيولوجيا اللبن Microbiology of Milk

الفصل التاسع عشر : الألبان المركزة Concentrated Milks

Part IV Cheese الجزء الرابع : الجبن

Principles of Cheese Making الفصل الثالث والعشرون : أساسيات عمل الجبن

Cheese manufacture الفصل الرابع والعشرين : تصنيع الجبن

Part V Appendix الجزء الخامس : الملحق

Part I الجزء الأول

Milk اللبن

1 الصفات المميزة

1 اللبن ، الصفات المميزة الرئيسية

يعرف اللبن بأنه إفراز الغدد اللبنية للثدييات ، ووظيفته الأولية الطبيعية هي تغذية الصغار ، ويستخدم لبن بعض الحيوانات كذلك وخاصة الأبقار ، الجاموس ، الماعز ، والأغنام للاستهلاك الآدمي ، إما كما هو ، أو في شكل منتجات لبنية متنوعة . كلمة لبن في هذا الكتاب للدلالة على اللبن "العادي" للأبقار الصحيحة إلا إذا ذكر غير ذلك ، وغالباً ما سوف نعقد مقارنة مع اللبن الآدمي .

يعتبر هذا الفصل مقدمة عامة ، تقريباً وقد تمت مناقشة كل ما ذكر بالتفصيل في فصول أخرى ، ماعدا أجزاء من الفصل 2.1 . ومن ناحية ثانية ، فإنه من المفيد أن تكون لدى القراء حديثي الإلمام بهذا المجال – وقبل أن نبدأ في النص الرئيسي بعض الأفكار عن تكوين وتركيب وخواص اللبن ، بالإضافة إلى التغيرات التي يمكن أن تحدث في هذه الخواص ، شاملة الاختلافات الطبيعية والتغيرات نتيجة العمليات التصنيعية .

1.1 المكونات والتركيب *Composition and Structure*

1.1.1 المكونات الرئيسية *Principal Components*

لقد تم سرد تصنيف المكونات الرئيسية للبن في الجدول 1.1 . كما أن المكونات الكيميائية الأساسية أو مجموعات المكونات الكيميائية هي التي توجد بكميات كبيرة ، وبالطبع فإن الكمية بالجرام ليست دائماً في كل الظروف ، فمثلاً الفيتامينات هي الأهم بالنسبة للقيمة الغذائية والإنزيمات هي العوامل الحفازة للتفاعلات ، وتسهم بعض المكونات الصغرى بصورة واضحة في طعم اللبن . وقد تم توضيح معلومات أكثر عن مكونات اللبن في الجدول 3.1 .

اللاكتوز هو المادة الكربوهيدراتية المحددة للبن ، واللاكتوز سكر ثنائي يتكون من الجلوكوز والجلاكتوز . واللاكتوز سكر مختزل .

ويتكون الدهن من جليســـريدات ثلاثية مكونة مخلوطاً معقداً جداً ، وتختلف الأحماض الدهنية المكونة كثيراً في طول السلسلة (من 2 إلى 20 ذرة كربون) وفي الحالة المشبعة من صفر إلى 4 روابط زوجية . وهناك دهون أخرى موجودة تشـــمل الفوســـفوليبيدات والكولســـترول والأحماض الدهنية الحرة والجليسريدات الثنائية .

يتكون حوالي أربع أخماس البروتين الموجود من الكازين وعادة خليط من أربعة بروتينات $\alpha_{s1}-, \alpha_{s2}, B-, K-$ كازين . والكازينات نموذجية للبن ولها بعض الخواص المميزة . ويتكون الباقي لأغلب الأجزاء من مصل اللبن والجزء الأساسي هو $B-$ لاكتوجلوبيلين بالإضافة إلى ذلك يحتوي اللبن على بروتينات عديدة شاملة لعدد كبير من الإنزيمات .

المواد المعدنية ، عادة البوتاسيوم K ، والصوديوم Na ، والكالسيوم Ca ، والماغنسيوم Mg ، والكلور Cl ، والفوسفات ، ويحتوي اللبن على عناصر أخرى عديدة بكميات ضئيلة ، تكون الأملاح مؤينة جزئياً فقط . توجد الأحماض العضـــوية كلية كأيونات أو كأملاح ، الســـترات هي الغالبة بالإضـــافة إلى أن باللبن مركبات متنوعة كثيرة وعادة ما تكون بكميات ضئيلة .

يســـمى المحتوى الكلي للمواد جميعها ماعدا الماء المحتوى من المادة الصلبة بالإضافة إلى ذلك ، نستطيع أن نتعرف على الجوامد الصلبة غير الدهنية ومحتوى الدهن في المادة الصلبة .

التركيب الكيميائي للبن عادة ما يحدد قيمته الغذائية ، المدى الذي تســـتطيع الكائنات الدقيقة أن تنمو فيه ؛ نكهته ؛ وتفاعلاته الكيميائية التي يمكن أن تحدث في اللبن وتشـــمل الأخيرة التفاعلات التي تسبب النكهة غير المرغوب فيها .

جدول 1.1 المكونات التقريبية للبن

Table 1.1 Approximate Composition of Milk

المكونات *Component*	متوسط المحتوى في اللبن *Average content in milk*	المدى *Range*[a] (% *w/w*)	المحتوى المتوسط في الوزن الجاف *Average content in dry matter* (% *w/w*)
الماء *Water*	87.1	88.7-85.3	-
جوامد صلبة غير دهنة *Solids-not-fat*	8.9	10.0-7.9	-
دهن في الوزن الجاف *Fat in dry matter*	31	38-22	-
لاكتوز *Lactose*	4.6	5.3-3.8	36
دهن *Fat*	4.0	5.5-2.5	31
بروتين *Protein*[c]	3.3	4.4-2.3	25
كازين *casein*	2.6	3.5-1.7	20
مواد معدنية *Mineral substances*	0.7	0.83-0.57	5.4
أحماض عضوية *Organic acids*	0.17	0.21-0.12	1.3
مكونات غير معروفة *Miscellaneous*	0.15	-	1.2

a. مطابق لألبان السلالات الهولندية .

b. هذه القيم نادراً ما تتجاوز 1% إلى 2% من عينات لبن منفصلة لبقرات مفردة ، مع استبعاد اللبأ واللبن المحلوب قبل الولادة بفترة قصيرة .

c. المركبات النيتروجينية غير البروتينية غير متضمنة وتم استبعادها .

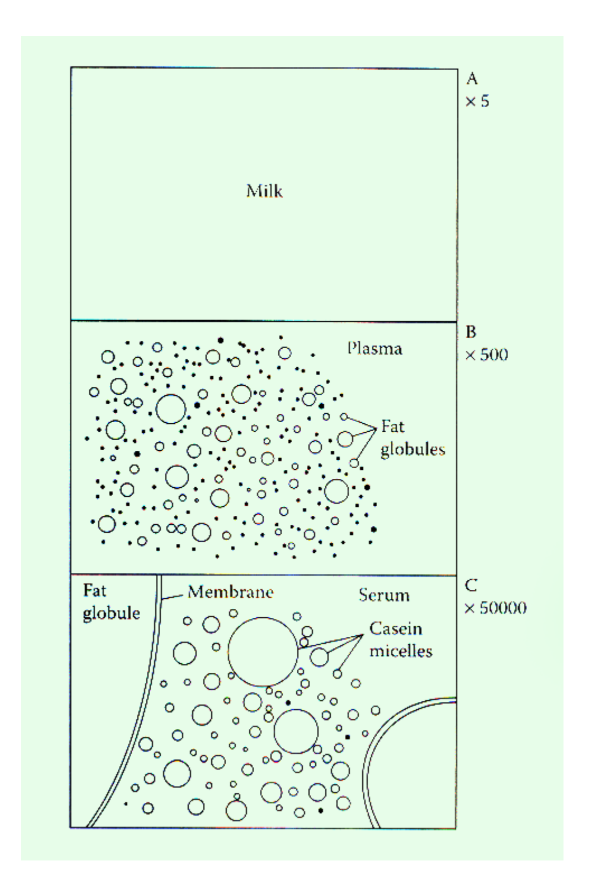
a. *Tipical for milks of lowland breeds.*
b. *These values will rarely be exceeded, e.g. in 1% to 2% of samples of separate milkings of individual cows, excluding colostrum and milk drawn shortly before parturition.*
c. *Nonpratein nitrogen compounds not included.*

2.1.1 العناصر التركيبية *Structural Elements*

يمكن أن يُعرّف التركيب بأنه التوزيع الهندســـي للمكونات الكيميائية في النظام . وبمعنى آخر الحسابات التركيبية لما هو موجود في النظام ، وهيكلية التركيب كيف توجد ، والتركيب هو كل ما نحتاجه بجانب المكونات والحالة الخارجية لكي نحدد خواص النظام . ويمكن أن يكون لهذا عواقب هامة على خصـــائص النظام . وعلى ســـبيل المثال (1) توجد المكونات الكيميائية في حجرات أو أقسـام مسـتقلة ، والتي يمكن أن تؤثر كثيراً على تفاعلاتها ؛ (2) ويؤثر وجود الجزئيات بشـــكل كبير على بعض الخواص الفيزيائية ، مثل اللزوجة والشـــكل الضـــوئي ؛ (3) وتحدد القوى المتداخلة بين الجزئيات الثبات الفيزيائي للنظام ؛ و (4) ويكون فصـــل بعض المكونات (الدهن والكازين) سهلاً نسبياً .

يشـير الشـكل 1.1 إلى العناصـر التركيبية الأسـاسـية للبن ، وبطبيعة الحال تكون الصـورة تخطيطية وغير كاملة . وقد تم ذكر بعض خواص العناصـــر التركيبية في جدول 2.1 ثانية بطريقة مبســـطة ويقصـــد فقط بالبيانات العددية المذكورة تعريف درجات القوة . ويوضـــح الجدول بجلاء جوانب الكيمياء شـــبه الغروية الضـــرورية لفهم خواص اللبن والتغيرات العديدة التي يمكن أن تحدث فيه ، جميع الجزيئات لها حركة برونينية *Brownian motion* ، ولها شـــحنة كهربية اســـتاتيكية تكون ســـالبة عند الأس الهيدروجيني للبن . وتكون المســـاحة الســـطحية للجزيئات كبيرة .

كريات الدهن *Fat Globules* اللبن هو مســـتحلب زيتي في ماء ، ولكن كريات الدهن أكثر تعقيداً من قطيرات المستحلب . وبالخصوص ، الطبقة السطحية أو غشاء كريات الدهن ليس طبقة امتصـــاص من مادة واحدة ، ولكن تحتوي على محتويات عديدة ذات تركيب معقد . تكون الكتلة الجافة للغشـاء حوالي 2.5% من كتلة الدهن . يكون جزء صـغير من الدهن موجوداً خارج كريات الدهن . يمكن أن يتبلور جزء من الدهن في الكريات عند درجة حرارة أقل من 35 درجة مئوية . يسـمى اللبن بدون كريات الدهن يسـمى بلازما اللبن *Milk Plasma* أي السـائل الذي تطفو فيه كريات الدهن .



شكل 1.1 اللبن كما يظهر بتكبيرات مختلفة توضح الصورة الحجم النسبي للعناصر التركيبية : (A) سائل متجانس ولكن المحلول عكر ولذلك لا يمكن أن يكون متجانســـاً ، (B) قطرات مســـتديرة تتكون من الدهن تطفو هذه الكريات في سائل (البلازما) الذي مازال عكراً ، (C) تحتوي البلازما على جزئيات بروتينية ، وهي جسيمات الكـازين . لا يزال الســـائـل المتبقي المصـــل براقـاً متلألئـاً لـذلـك يجـب أن تحتوي على جزيئـات أخرى . كريات الدهن لها غشاء خارجي رفيع تركيبه مختلف (عن هـــ . ميلوبر وب والترا ، كريات دهن اللبن واجينينجين : بيدوك ، 1974)

FIGURE 1.1 Milk viewed at different magnifications, showing the relative size of struc- tural elements (A) Uniform liquid. However. the liquid is turbid and thus cannot be homogeneous. (B) Spherical droplets, consisting of fat. These globules float in a liquid (plasma), which is still turbid. (C) The plasma contains proteinaceous particles, which are casein micelles. The remaining liquid (serum) is still opalescent, so it must contain other particles. The fat globules have a thin outer layer (membrane) of different constitution. (From H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

تتكون جســـيمات الكازين *Casein Micelles* من ماء ، بروتين ، وأملاح . البروتين هو الكـازين . ويوجـد الكـازين على هيئـة كـازينـات ، والتي تعني أنهـا تربط الكـاتيونـات مثـل الكالســيوم والماغنســيوم . توجد الأملاح الأخرى في الجسـيمات كفوسـفات الكالسـيوم تختلف بعض الشــيء في التكوين وتحتوي أيضــاً على كمية صــغيرة من الســترات . وتســمى هذه عادة الفوســـفات شـــبه الغروية . ويمكن أن تســـمى جميعها معقد كازينات الكالســـيوم/فوســـفات الكالســيوم . إن جسـيمات الكازين ليســت جسـيمات بالمعنى الكيميائي-شـبه الغروي ولكنها عبـارة عن جزئيـات صـــغيرة . والجســـيمـات لهـا تركيـب مفتوح وعلى ذلـك ، فإنهـا تحوي مـاءاً كثيراً ، وجرامات قليلة لكل جرام من الكازين . مصل اللبن *Milk serum* أي السائل الذي تنتشر فيه الجسيمات ، هو لبن ينقصه كريات الدهن وجسيمات الكازين .

توجد بروتينات المصـل *Serum proteins* بكثرة في اللبن بالصـورة الجزيئية أو كتجمعات متناهية الصغر .

جزيئـات الليبوبروتين *Lipoprotein Particles* ، وتســـمى أحيـانـاً ميكروســـومـات اللبن ، تختلف في الكمية والشـــكل . وغالباً تتكون من بقايا أغشـــية الخلايا اللبنية المفرزة . وقد نشرت بيانات محددة قليلة عن جزئيات الليبوبروتين .

تكون الخلايا *cells* أي الكريات البيضاء *Leukocytes* ، دائماً موجودة في اللبن . وتمثل حوالي 0.01 % من حجم لبن الأبقـار الســـليمـة . وبـالطبع تحتوي الخلايـا على كـل المكونـات السيتوبلازمية مثل الإنزيمات . وهي غنية بإنزيم الكاتاليز .

2.1 تكوين اللبن **Milk Formation**

تتكون مكونات اللبن في الغدد الثديية (الضرع) للبقرة من مواد تمهيدية ناتجة عن الهضم .
الهضـم *Digestion* : تهضـم الثدييات غذائها باستخدام الإنزيمات للحصول على مركبات بسيطة ذائبة ذات كتلة مولارية منخفضـة وخاصـة السـكريات الأحادية ، ببتيدات صـغيرة وأحماض أمينية وجليسريدات أحادية . هذه المركبات يتم نقلها للدم مع مواد غذائية أخرى مثل الأملاح المختلفة ، الجليسـرول ، الأحماض العضـوية وغيرها ، وتنقل المواد إلى جميع الأعضـاء في الجسـم بما فيها الغدة الثديية لتمدها بالطاقة ولبناء مواد تمهيدية أيضية شاملة لتخليق البروتينات والدهون وغيرها .

يحدث في الحيوانات المجترة مثل البقرة هضم خارجي (مبكر) *Predigestion* بواسطة التخمر الميكروبي الذي يحدث للجزء الرئيسي في المعدة الأولى *Rumen* ، ويمكن اعتبار الأخيرة مخمراً بيولوجياً ، ويحتوي على أعداد كبيرة من البكتيريا القادرة على هضم السيليلوز والمواد الكربوهيدراتية الأخرى ، وتتكون أحماض الأسيتيك والبروبيونيك و البيتيرك واللكتيك التي تدخل الدم . يعتمد تركيب مخلوط الأحماض العضوية على تركيب الغذاء ويتم تكسير البروتينات إلى أحماض أمينية ، وتستفيد الفلورا الموجودة بالمعدة الأولى منها في عمل البروتينات ولكن أيضاً في تخليق الأحماض الأمينية من المكونات النيتروجينية منخفضة الكتلة المولارية ، ويتم بعد ذلك هضم الميكروبات في القناة الهضمية وتحرير الأحماض الأمينية وكذلك الحال بالنسبة لدهون الطعام التي تنحل مائياً في المعدة الأولى ويحدث لها أيض أولي بواسطة الكائنات الدقيقة ، تستطيع كل هذه المواد التمهيدية أن تصل إلى الغدة الثديية .

تخليق اللبن *Milk Synthesis*

يحدث تخليق مكونات اللبن للجزء الأكبر منه في الخلايا المفرزة للغدة الثديية . يوضح شكل 2.1 شكل هذه الخلية . في النهاية القاعدية تدخل مكونات اللبن التمهيدية من الدم ، وفي النهاية القمية تفرز مكونات اللبن داخل التجويف *Lumen* تتكون البروتينات في الشبكة الأندوبلازمية وتنقل إلى حويصلات جولجي *Golgi Vesicles* والتي فيها تجمع أغلب مكونات اللبن الذائبة . تنمو الحويصلات في الحجم أثناء انتقالها خلال الخلية ثم تنفجر لتلقي بمحتوياتها في تجويف الخلية . يتم تخليق الجليسريدات الثلاثية في السيتوبلازم مكونة كريات صغيرة تمر أثناء انتقالها إلى الجزء القمّي للخلية ثم تغلف بواسطة غشاء الخلية الخارجي (البلازماليما *Plasmalemma*) أثناء طردها داخل التجويف الخلوي . ويسمى هذا النوع من الإفراز الغدد الفارزة *merocrine* والذي يعني أن الخلية تبقى سليمة ولا تتضرر بالعملية الإفرازية حيث تحافظ على تركيبها وتخرج إفرازاتها من السطح القمّي للخلية .

Table 1.2 Properties of the main structural elements of Milk — **جدول 2.1** خواص العناصر التركيبية الأساسية للبن

Milk اللبن				
Plasma البلازما				
Serum المصل				
Lipoprotein particles	Globular proteins	جسيمات الكازين Casein micelles	كريات الدهن Fat globules	
Lipids, proteins	بروتين المصل Serum protein	Casein, water, salts	Fat دهن	المكونات الرئيسية Main component
انتشار غروي Colloidal dispersion	محلول غروي Colloidal solution	انتشار خفيف	مستحلب Emulsion	To be considered as
0.01	0.6	2.8	4	المحتوى (نسبة المادة الجافة) Content (% dry matter)
10^{-4}	0.006	0.1	0.04	الكسر الحجمي Volume fraction
10 nm	3-6 nm	20-30 nm	0.1-10 µm	قطر الجزيئ Particle diameter
10^{14}	10^{17}	10^{14}	10^{10}	العدد لكل مليلتر Number per ml
100	50000	40000	700	مساحة السطح (سم^{3}/مليلترلبن) Surface area (cm^{2}/ml milk)
1100	1300	1100	920	Density الكثافة (20°C; Kg.m^{-1})
ميكروسكوب الكتروني Electron		ميكروسكوب فائق العكبير Ultra microscope	Microscope	Visible with تشاهد مع

microscope Ultrafiltration	الترشيح الفائق Ultrafiltration	طارد مركزي فائق السرعة High-speed centrifuge	فاصل اللبن Milk separator	تفصل بواسطة Separable with
0.4	0.6	0.1-0.3	0.0	معدل الانتشار Diffusion rate (mm in I h)[1]
~4	4-5	~4.6	~3.8	الأس الهيدروجيني متساوي الكهربية Isoelectric pH

a للمقارنة أغلب الجزئيات في المحلول قطرها يتراوح بين 0.4-1 نانوميتر ، وينتشر 5 مليمتر في الساعة الواحدة .

مليمتر واحد = 10^3 ميكرومتر = 10^6 نانومتر = 10^7 أنجستروم

ملاحظة القيم العددية هي متوسطات تقريبية .

[a] For comparison, most molecules in solution are 0.4-1 nm diameter, and diffuse, say, 5 mm in 1 h. $1mm = 10^3 \mu m = 10^6 nm = 10^7 A$.

Table 1.3 Composition and Structure of Milk[a]

جدول **3.1** مكونات وتركيب اللبن

FAT GLOBULE

Glycerides	
triglycerides	40 g
diglycerides	0.1 g
monoglycerides	10 mg
Fatty acids	60 mg
Sterols	100 mg
Carotenoids	0.3 mg
Vitamins A, D, E, K	
Water	60 mg
Others	

CASEIN MICELLE

Protein	
casein	26 g
proteose peptone	+
Salts	2 g
Ca	850 mg
phosphate	1000 mg
citrate	150 mg
K, Mg, Na	
Water	~80 g
Enzymes	
lipase	
plasmin	

MEMBRANE

water	+
protein	700 mg
phospholipids	250 mg
cerebrosides	30 mg
glycerides	+
fatty acids	15 mg
streols	15 mg
other lipids	
enzymes	
alkaline phosphatase	
xanthine oxidase	
many others	
Cu	4 μg
Fe	100 μg

LEUKOCYTE

Many enzymes
e.g., catalase
Nucleic acids
Water

LIPOPROTEIN PARTICLE

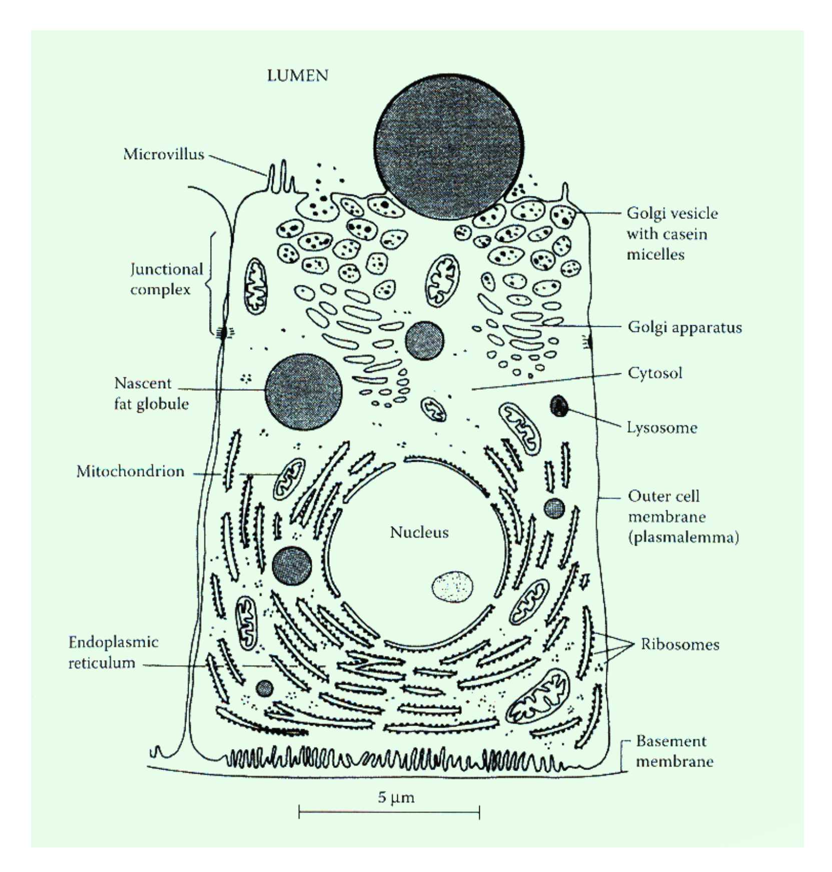
lipids
protein
enzymes
water

SERUM

Water	790 g	***Organic acids***		***Proteins***	
		citrate	1600 mg	casein	+
Carbohydrates		formate	40 mg	β-lactoglobulin	3.2 g
lactose	46 g	acetate	30 mg	α-lactalbumin	1.2 g
glucose	70 mg	lactate	20 mg	serum albumin	0.4 g
others		oxalate	20 mg	immunoglobulins	0.8 g
		others	10 mg	proteose peptone	+
Minerals				others	
Ca, bound	300 mg	***Gases***		***Nonprotein nitrogenous***	
Ca, ions	90 mg	oxygen	6 mg	***compounds***	
Mg	70 mg	nitrogen	16 mg	peptides	+
K	1500 mg	***Lipids***		amino acids	50 mg
Na	450 mg	glycerides	+	urea	250 mg
Cl	1100 mg	fatty acids	20 mg	ammonia	10 mg
phosphate	1100 mg	phospholipids	100 mg	others	300 mg
sulfate	100 mg	cerebrosides	10 mg	***Enzymes***	
bicarbonate	100 mg	sterols	15 mg	acid phosphatase	
		others		peroxidase	
Trace elements				many others	
Zn	3 mg	***Vitamins, e.g.***		***Phosphoric esters***	~300 mg
Fe	120 μg	riboflavin	2 mg	***Others***	
Cu	20 μg	ascorbic acid	20 mg		
many others					

a : متوسط كميات تقريبية في كيلوجرام واحد من اللبن ، لاحظ أن الماء في جسيمات الكازين يحتوي على بعض جزيئات صغيرة من المذاب .

[a]Approximate average quantities in 1 kg milk. Note: The water in the casein micelles contains some small-molecule solutes.



شكل 2.1 شكل توضيحي لخلية مفرزة للغدة الثديية موضحاً الجزء القاعدي للخلية والمرتكز على الغشاء القاعدي والجزء القمّي الـذي يفتح في تجويف الخلية وتحيط بـالخلية خلايا إفرازية أخرى لتكون الطلائية الغـدية انظر النص لتفاصيل أخرى . عن والترا وجينني (1984)

FIGURE 1.2 Stylized diagram of a mammary secretory cell. Below is the basal part. on top the apical part of the cell. The cell is bounded by other secretory cells to form the glandular epithelium. See text for further details. (From P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984. With permission.)

يعطي الجـدول 4.1 بعض المعلومـات عن تخليق مكونـات معينـة تخلق أغلبهـا في الخليـة ويستخلص بعضـهـا من الدم ، ولكن عامة ليس بنفس النسـبة الموجودة في الدم وخاصـة الأملاح . وهذا يعني أن لأغشـــية الخلية نفاذية اختيارية لبعض مكونات معينة ، تســـمح لها أو تمنعها من

المرور عبر الغشــاء الخلوي ، تســتطيع بعض المواد مثل الماء والجزئيات الصــغيرة المحبة للدهن أن تمر من غشـــاء الخلية دون صــعوبة ، ويمكن بعض المكونات الأخرى مثل مصـــل الألبومين والكلوريدات التســـرب من الدم إلى داخل اللبن بالمرور خلال الفراغات الموجودة بين الخلايا الإفرازية ، ويمكن كذلك لبعض الكريات الدموية البيضـــاء الوصـــول إلى تجويف الخلايا وأخيراً تفرز بقايا الخلايا مثل أجزاء من الزغابات *Microvilli* المرســومة في شــكل 2.1 وشــظايا رقيقة من الســـيتوبلازم والتي عادة ما تلتصـــق بكريات الدهن ، وتكون جزيئات الليبوبروتين (الجدول 2.1) .

الإخراج ***Excretion***

تكون الخلايا الطلائية الغدية المكونة لطبقات الخلايا المفرزة أجســاماً كروية تســـمى الحويصلات (الأسناخ) *Alveoli* كل واحد منها له فراغ مركزي بداخله يفرز اللبن الطازج المتكون ومن هناك يســتطيع اللبن المرور خلال قنوات صــغيرة داخل قنوات أكبر فأكبر حتى يصـــل فراغاً يســمى الوعاء *Cistern* ، يســتطيع اللبن من الكيس أو الوعاء أن ينســاب عن طريق الحلمات ، للبقرة أربع حلمات ثديية تغذى كل واحدة بغدة لبنية منفصلة ، وعادة ما تسمى بالضرع (الأرباع *Quarters*) .

لا يحدث إخراج اللبن فجائياً ، فالحويصـــلات يجب أن تنقبض ويحدث ذلك بانقباض عضـــلات الأنســـجة حولها ، يتم الانقباض في وجود هرمون يســـمى أوكســـي توســـين *Oxytocin* . يطلق في الدم ويؤدي إلى تحفيز الحلمات الثديية للحيوان الذي يتم بواسطة الرضيع الصغير أو عن طريق الشخص الذي يقوم بعملية الحلب ، ولا يتم تفريغ الضرع بالكامل .

عملية الإدرار ***Lactation***

عندما يولد العجل يبدأ تكوين وإفراز اللبن . الإفراز الأول للبن يختلف كثيراً في التركيب عن باقي اللبن (انظر 5.1.7.2) . في خلال أيام قليلة يصــبح اللبن عادياً وتزداد إنتاجية اللبن لعدة

شـــهور ، ثم ينحـدر بعـدهـا تـدريجيـاً . وتختلف الإنتـاجيـة بين الأبقـار وطبقـاً لكميـة ونوعيـة الغـذاء الـذي يقـدم للبقرة . عـادة مـا يتوقف الحلـب في الأبقـار الميلش *Milch Cows* بعـد حوالي عشـــرة شـــهور ، وتســـمى الفترة من الحمـل إلى أن تصـــبح البقرة جـافـة بفترة أو موســـم الإدرار *Period of lactation* والوقـت الـذي يمر بعـد الحمـل هو مرحلـة الإدرار *Stage of lactation* .

3.1 بعض خواص اللبن *Some Properties of Milk*

اللبن كمحلول *Milk as a Solution*

اللبن هو محلول مائي مخفف ، تذوب المواد القطبية جيداً في اللبن ، ثابت العازل الكهربي للبن عالي مثل الماء النقي ، تذوب المواد القطبية جيداً في اللبن وتميل الأملاح إلى التفكك (بالرغم من أن التفكـك يكون غير كـامـل) . القوة الأيونيـة للمحلول هي حوالي 0.073 مولر والأس الهيدروجيني للبن هو 6.7 في درجة حرارة الغرفة . اللزوجة منخفضـــة حوالي ضـــعف لزوجة الماء ، وهذا يعني أن اللبن يستطيع أن يخلط حتى بواسطة تيارات الحمل الناتجة عن تغيرات طفيفة في درجة الحـرارة ، تـعـطـي المـواد الـذائـبـة الـلـبـن ضـــغـطـاً أسمـوزيـاً قـدره 700 KPa (7 بار) وانخفاض لنقطة التجمد بالقرب من 0.53 K ، النشـاط المائي عال ، حوالي 0.995 كثافة اللبن ($\rho 20$) حوالي 1029 كيلوجرام/متر$^{-3}$ عند درجة حرارة 20 مئوية ، وتختلف خـاصـــة مع المحتوى الدهني .

اللبن كمشتت *Milk as a Dispersion*

يكون اللبن أيضـاً محلولاً مشـتتاً ، الجزيئات المشـتركة تم اختصـارها في جدول 2.1 . وينتج عن ذلك عدة نتائج ، مثل كون لون اللبن أبيض . كريات الدهن لها غشـاء يعمل كنوع من الحاجز بين البلازما ولب الدهون ، ويحمي الغشاء أيضاً الكريات من التجمع ، يمكن أن الجزيئات المختلفة تفصل عن الجزيئات الأخرى .

Table 1.4 Synthesis of Important Milk Components　　　**جدول 4.1** تخليق مكونات اللبن الهامة

تخليق المكونات Synthes & component			المواد التمهيدية في بلازما الدم Precursor in Blood Plasma		مكونات اللبن Milk Component	
خاص بالنوع Specific for the Species	خاص باللبن Specific for Milk	في الخلايا الإفرازية In the Secretary Cells	التركيز Concentration	الاسم Name	التركيز (% وزن/وزن) Concentration	الاسم Name
No	No	No	91	Identical مماثل	86	Water ماء
No	Yes	Yes	0.05	Glucose[a] جلوكوز	4.7	Lactose لاكتوز
						Protein بروتين
Yes[b]	Yes	Yes			2.6	Caseins كازينات
Yes	Yes	Yes	0.04	أحماض أمينية Amino acids	0.32	لاكتوجلوبيلينات B-lactoglobulin
Yes	Yes	Yes			0.12	لاكتوالبومينات Lactoalbumin
Yes	Yes	Yes			0.01	لاكتوفيررين Lactoferrin
Yes	No	No	3.2	Identical مماثل	0.04	اليبومين المصل Serum albumin
Yes	No	No	1.5	Identical مماثل	0.07	جلوبيولنيات مناعية Immunoglobulins
Yes	No[c]	Yes[c]	-	Various متنوعة	Trace	إنزيمات Enzymes
	جزيئاً Partly	جزيئاً Partly	0.01	حامض أستيك Acetic acid		
			0.006	B-Hydroxy butyric acid	4	جلسريدات ثلاثية Triglycerides
				أسيل جليسرولات Acylglycerols		
			0.3	بعض الدهون Some lipids	0.03	فسفوليسيدات Phospholipids

حامض ستريك Citric acid	0.17	جلوكوز Glucose[a]	0.05	Yes	No	No
معادن Minerals		مماثل Identical		No	No	No
كالسيوم C[a]	0.13		0.01			
فسفور P[d]	0.09		0.01			
صوديوم N[a]	0.04		0.34			
كالسيوم K	0.15		0.03			
كلور Cl	0.11		0.35			

a يمكن للجلوكوز أن يتكون في الخلايا الإفرازية من بعض الأحماض الأمينية

b جميع البروتينات تكون خاصة بالنوع ، ولكن بروتينات مقارنة توجد في ألبان جميع الحيوانات المجترة

c ليس صحيحاً لكل الإنزيمات

d في فوسفات مختلفة

a. Glucose can also be formed in the secretory cells from some amino acids.
b. All proteins are species specific, but comparable proteins occur in the milk of all ruminants.
c. Is not true for all enzymes.
d. In various phosphates.

يمكن أن تتركز كريات الدهن بطريقة بسيطة وهي التقشيد ***Creaming*** والتي تحدث إما بالجاذبية أو أكثر فاعلية بالطرد المركزي ***centrifugation*** وبهذه الطريقة يمكن الحصـــول على القشدة واللبن المنزوع الدسم . واللبن المنزوع الدسم ***Skim milk*** ليس مطابقاً لبلازما اللبن بالرغم من تشـابهه معه لأنه مازال يحتوي على بعض كريات الدهن الصـغيرة . يمكن خض القشـدة لعمل الزبدة واللبن الزبدة ***buttermilk*** والأخير يشبه في التركيب اللبن المنزوع الدسم .
بالإضافة إلى ذلك يمكن للكازين أن يركز ويفصل من اللبن بواسطة الترشيح بالغشاء ***Membrane Filtration*** . يمر المحلول من خلال الغشـاء وهو مشـابه تماماً لمصـل اللبن وإذا كانت الثقوب في الغشـاء صـغيرة جداً ، فإن بروتينات المصـل قد تحجز ، وعندما نضـيف إنزيمات المنفحة للبن كما نفعل في تصنيع الجبن ، تبدأ جسيمات الكازين في التجمع مكونة هلاماً ، عندما نقطع الهلام إلى قطع فإن هذا التقطع يطرد الشـرش . والأخير أيضـاً يشـبه مصـل اللبن ولكن ليس لحد كبير لأنه يحتوي على بعض كريات الدهن وجزء من الكابا كازين ***K-casein*** المنفصـــلة بواســـطة الإنزيم . يتجمع الكـازين أيضـــاً ليكون هلاماً عنـدما ينخفض الأس الهيـدروجيني للبن إلى حوالي 4.6 . بالإضـــافة إلى ذلك يمكن نزع الماء من اللبن بالتبخير ، حيث تتكون منتجات لبنية ســـائلة ذات مكونات مختلفة ، وبعض الأمثلة موجودة في جدول 5.1 .

النكهة ***Flavor***

نكهـة اللبن الطـازج غير حريفـة ***fairly bland*** حيـث يعطي اللاكتوز حلاوة وتعطي الأملاح ملوحة ، كذلك يمكن أن تسـهم بعض الجزيئات صـغيرة الحجم الموجودة بكميات قليلة في النكهة ، تكون كريات الدهن مسئولة عن قشدية اللبن الكامل .

القيمة الغذائية ***Nutritional Value***

اللبن غذاء كامل للعجول الصـغيرة ويمكن أن يقدم كغذاء كامل للإنســان ، حيث يحتوي على جميع المواد الغذائية بكميات معنوية محسوسة . إلا أن اللبن فقير في الحديد ومحتوى فيتامين ***C*** ليس مرتفعاً ، ولا يحتوي على عوامل مضادة للتغذية ولكن ينقصه الألياف الغذائية .

اللبن كمادة أساسية للبكتيريا *Milk as a Substrate for Bacteria*

لأن اللبن غني بالمواد الغذائية ، فإن كثيراً من الكائنات الدقيقة وخاصة البكتيريا تستطيع النمو فيه . ليس كل البكتيريا تحتاج إلى سكر لكي تنمو في اللبن وبعضها يكون غير قادر على أيض اللاكتوز ، واللبن فقير في الحديد والذي يكون مادة غذائية أساسية لبعض البكتيريا ، ويحتوي على بعض عوامل مضادة للبكتيريا *Antibacterial factors* مثل الجلوبيلينات المناعية وبعض الأنظمة الإنزيمية ، بالإضافة إلى ذلك يحتوي اللبن على أكسجين كثير للبكتيريا الهوائية . ولكن نمو بكتيريا عديدة قد يكون مقيداً إلى حد ما في اللبن الخام ، بينما يمكن أن تتكاثر بكتيريا أخرى وخاصة عند درجات حرارة عالية مناسبة .

4.1 اختلافات *Variability*

يختلف اللبن الطازج المحلوب في المكونات والتركيب والخواص ، ويمكن وجود الاختلاف حتى في اللبن المحلوب من بقرة واحدة ، وتختلف كريات الدهن في الحجم إلى حد ما وفي التركيب ، ويوجد نفس الشيء بالنسبة لجسيمات الكازين .

الاختلافات الطبيعية *Natural Variation*

العوامل الرئيسية المسئولة عن الاختلافات الطبيعية في اللبن هي كالتالي :

- عوامل وراثية *Genetic factors* : السلالة والأفراد .
- مرحلة الإدرار *The stage of Lactation* : ولها تأثير معنوي خاصة اللبن المحلوب خلال يومين أو ثلاثة أيام بعد الحمل يكون له مكونات مختلفة ، ويسمى لبن السرسوب *Colostrum* .
- مرض البقرة *Illness of the cow* : وخاصة مرض التهاب الضرع الحاد *Mastitis* يمكن أن يكون لها تأثير أكبر ، حيث يزيد محتوى اللبن من الخلايا الجسمية *Somatic cells* .

- العلف *Feed* : تؤثر كمية ونوعية العلف المقدم بقوة على إنتاجية اللبن ، ولو أن تأثير غذاء البقرة على مكونات اللبن يكون ضعيفاً ماعدا محتوى ومكونات الدهن .

وتكون مكونات نوعية لبن الأبقار ثابتة ، إلا أن الحلبات الفردية تختلف معنوياً في المكونات ، ويكون الاختلاف قليلاً في اللبن المصـــنع في المزرعة ، لأن اللبن يتكون من خليط من أعداد كبيرة من لبن البقر مجموعة من مزارع كثيرة .

أســـباب أخرى ***Other causes*** ، حالما يخرج اللبن من الضـــرع يكون معرضـــاً للتلوث مثلاً بالأكسـجين والبكتيريا (اللبن داخل ضـرع بقرة سـليمة يكون معقماً) يمكن أن يحدث التلوث بمواد أخرى . درجة حرارة اللبن عادة ما تنخفض ، يمكن أن تؤدي هذه العوامل إلى تغيرات في خواص اللبن ، تحدث تغيرات كبيرة أثناء التخزين الطويل وفي تصنيع اللبن (انظر الجزء التالي) .

5.1 تغيرات *Changes*

اللبن ليس نظاماً متوازناً ، فهو يتغير حتى وهو في الحلمة ، وذلك لأن مكونات مختلفة توجد في أماكن مختلفة في الخلية الإفرازية للغدة الثديية ثم تصبح متصلة مع بعضها بعد تكوينها ، بالإضـــافة إلى ذلك يمكن أن تحدث تغيرات عديدة نتيجة عملية الحلب والانخفاض اللاحق لدرجة الحرارة وغيرها ، ويمكن تقسيم التغيرات الممكنة كالتالي :

1. تغيرات فيزيائية تحدث مثلاً عندما يندمج الهواء أثناء عملية الحلب وبســـبب ذلك يحدث تذويب إضـــافي للأكســـجين والنيتروجين في اللبن ، بالإضـــافة إلى ذلك يتكون عنصـــر تركيبي جديد : فقاعات الهواء . يحتوي اللبن على سـطوح مواد نشـطة كثيرة ، وبروتينات كثيرة ، عند التلامس مع فقاعات الهواء ، ويمكن أن تتحول كريات الدهن إلى قشـــدة ، يكون التقشـــيد سـريعاً عند درجات حرارة منخفضـة لأن الكريات تتجمع وتكون كتلاً كبيرة أثناء ما يسـمى التلزن البارد (تحت فصـــل 4.2.3) بالتبريد يبدأ جزء من دهن اللبن في التبلر ويزداد تكون البلورات بـانخفـاض درجـة الحرارة . ولكن حتى عنـد درجـة الصـــفر المئوي يبقى جزء

من الدهن سـائلاً ، يمكن أن يقلل وجود بلورات الدهن ثبات كريات الدهن ضـد التجمع .

2. يمكن أن تحدث تغيرات كيميائية في وجود الأكسجين ، يمكن أن تؤكسد مواد كثيرة خاصة . وقد يسبب الضوء تفاعلات تؤدي غالباً لطعم غير مستحب ويمكن لمكونات الأملاح أن تتغير مع درجات الحرارة .
3. يمكن أن تحدث تغيرات بيوكيميائية لأن اللبن يحتوي على إنزيمات نشطة مثل الليباز ***Lipase*** الذي يسبب تحلل الدهن ***lipolysis*** ، البروتنيز ***Proteinase*** الذي يسبب تحلل البروتين ***Proteolysis*** ، الفوسفاتيز الذي يسبب التحلل المائي لإسترات حامض الفوسفوريك .
4. تغيرات ميكروبية دائماً ما تكون الأكثر وضـوحاً . التأثير المعروف جيداً هو إنتاج حامض اللاكتيك من اللاكتوز مسبباً انخفاضاً واضحاً في الأس الهيدروجيني . وهناك تغيرات أخرى عديدة مثل تحلل الدهن والبروتين يمكن أن تحدث نتيجة لنمو الميكروبات .

تبريد اللبن *Cooling* لحوالي 4 درجات مئوية عادة ما يستخدم لتثبيط كثير من التغيرات المذكورة ، خاصـة نمو الكائنات الدقيقة وفعل الإنزيمات في مناطق كثيرة ، يبرد اللبن في المزرعة مباشـرة بعد الحلب فيما يسمى بخزانات التجميع ، لابد أن يحفظ اللبن بارداً أثناء النقل إلى مصنع الألبان والتخزين التالي .

العمليات *Processing* ، إن لتغيير مكونات وخصائص اللبن أثناء عمليات التصنيع تأثيرات غير مرغوبة . فالتسخين العالي للبن يغير بصـورة واضحة من النكهة ، ويمكن أن يثار جدل في أن المنتجات اللبنية المصنعة لا يجب تسميتها لبنية . ولكن مازالت هذه التسمية مستخدمة إلى الآن ، وسوف نناقش في هذا الكتاب المعاملات التصنيعية الشائعة الاستعمال .

المعاملة الحرارية *Heat treatment* : وهي المستخدمة دائماً حيث تحدث تغيرات كيميائية عديدة أخرى ويعتمد تأثيراها على درجات الحرارة ومدة المعاملة ، البسترة المنخفضة أي 15 ثانية

في درجة 74 مئوية هي معاملة معتدلة تقتل أغلب الكائنات الدقيقة وتثبط بعض الإنزيمات ولكن لا تسبب أيضـاً تغيرات أخرى ، وتسبب البسترة المرتفعة (أي 15 ثانية في درجة 90 درجة مئوية) اختلافات واسعة تكون أكثر حدة ، فكل الكائنات الدقيقة الخضـرية تُقْتل وأغلب الإنزيمات تُثبَط وجزء من بروتينات الشـــرش تصـــبح غير ذائبة ، والمجموعات الكبريتية المهدرجة *SH groups* – تصـــبح معرضـــة ، التعقيم (أي 20 دقيقة في درجة حرارة 118 درجة مئوية) يقصـــد به قتل جميع الكائنات الدقيقة بما فيها الجراثيم *Spores* ، يتم تثبيط جميع الإنزيمات ، تحدث تغيرات كيميائية عديدة مثل تفاعلات الدكانة *browning reaction* وتكون حامض الفورميك ، التسـخين الفائق *UHT* أي في درجة 145 مئوية لثوانٍ قليلة ويقصـد به تعقيم اللبن ، بينما يقلل التغيرات الكيميائية حتى بعض الإنزيمات لا يتم تثبيطها بالكامل .

الفصل *Sepatation* : عادة بواسطة جهاز الطرد المركزي ويسمى فاصل القشدة ، ينتج لبن الفرز والقشـدة ، لبن الفرز به محتوى منخفض من الدهن يتراوح بين 0.05 و 0.08% . اللبن المنزوع منه القشـدة بواسـطة الجاذبية الأرضـية *Gravity Creaming* يحتوي على مكونات دهنية أعلى إذا لم يذكر غير ذلك ، فإن لبن الفرز يعني اللبن المفصـــول بالطرد المركزي ، يخلط لبن الفرز والقشـــدة فيمكن الحصول على لبن قياسي ذي محتوى دهني محدد مطلوب .

تجنيس اللبن *Homogenization* : (يعني المعاملة في مجنس ذو ضـــغط عالٍ) يؤدي إلى اختزال حجم كريات الدهن بصـورة معتبرة ، هذا النوع من اللبن تفصـل قشـدته ببطء شـديد ولكنه يتغير أيضـــاً من جوانب أخرى ، جميع الألبـان المعقمـة أو بوجـه عـام كل المنتجـات اللبنية المعمرة يتم تجنيسها عملياً .

التبخير *Evaporation* : يزيل الماء وينتج عن ذلك لبن مركز . ويتم تغير خصـائص كثيرة أي أن الأس الهيدروجيني ينخفض .

عمليات الأغشـــية *Membrane Processes* : تســتخدم لإزالة الماء وتســمى بعملية الأسموزية العكسـية ، يفصـل الترشـيح الفائق اللبن إلى مركزات وسـائل يشـبه مصـل اللبن ، الديلزة الكهربية *Electrodialysis* تزيل بعض الأملاح غير العضوية .

جدول 5.1 مكونات عامة وبعض خصائص اللبن ومنتجاته السائلة

Table 1.5 Gross Composition and Some Properties of Milk and Liquid Milk Products

منتج اللبن Milk Product	اللبن الطازج Fresh Milk	لبن الشرب Beverage Milk	لبن الشرب Beverage Milk	اللبن منزوع الدسم Skim Milk[b]	القشدة المخفوقة Whipping Cream	اللبن المبخر Evaporated Milk	الشرش الحلو Whey (Sweet)[b]	اللبن القشدة الحامض Buttermilk (Sour)[c]	الزبادي العادي Yogurt (Plain)[d]
المعاملة الحرارية Heat Treatment[a]	No	LP	ST	LP	HP	ST	Lp	Hp	Hp
Fat الدهن	4.0	3.5	3.5	0.07	35	8.0	0.05	0.4	3.5
Casein الكازين	2.6	2.6	2.6	2.7	1.7	5.7	آثار	2.6	2.5
Other proteins بروتينات أخرى	0.70	1.70	1.70	1.66	1.15	1.5	0.81	0.9	0.8
Lactose لاكتوز	4.6	4.6	4.6	4.8	3.1	9.5	5.0	3.9	3.7
Salts أملاح	0.85	0.85	0.85	0.88	0.51	1.85	0.66	0.88	0.85
Water ماء	87.1	87.5	87.5	90.6	58.4	73.1	93.3	90.2	87.5
Properties pH الخواص pH	6.7	6.7	6.6	6.7	6.7	6.2	6.6	4.6	4.4
اللزوجة (mpa.5) Viscosity (mPa.s)	1.9	1.8	1.9	1.65	8.7	17	1.2	100[e]	400[e]
الكثافة (كيلوجرام/متر^3) Density (kg.m^{-3})	1029	1030	1030	1035	990	1070	1025	1034	1031
حجم كريات الدهن (ميكرومتر[f]) Fat globule size (μm[f])	3.4	0.5	0.3	0.5	4.0	0.3	-	-	0.4

ملاحظة ، أمثلة تقريبية ، القيم عند درجة حرارة الغرفة .

Lpa = بسترة منخفضة ، Hp= بسترة عالية ، ST= تعقيم .

b معاملة بالطرد المركزي .

c غير مخفف ، d زبادي مقلب ، e مختلف للغاية ، $d_{32}F$ (انظر تحت الفصل 4.1.3) .

Note: Approximate examples; values at room temperature.

a LP = low-pasteurized, HP = high-pasteurized, ST = sterilized. b Centrifuged.

c Undiluted. d Stirred yogurt. e Highly variable. f D_{32} (see Subsection 3.1.4).

التخمر أو زراعة اللبن ***Fermentation or culturing of milk*** : عادة بواســطة بكتيريا حامض اللكتيك ، ويسبب تغيرات معتبرة حيث أن جزءاً من اللاكتوز يتحول إلى حامض اللكتيك ويسبب انخفاضاً في الأس الهيدروجيني لدرجة أن الكازين يصبح غير ذائب ، وهنا يجعل اللبن أكثر لزوجة وتنتج البكتيريا أيضاً مواد أيضية أخرى يعتمد نوعها وتركيزها على نوع البكتيريا .

تصــنيع الجبن ***Cheese Making*** : كما ذكرنا ســابقاً ، يمكن للبن أن يتجلط بإضــافة المنفحة *rennet* ، والتي تحتوي على إنزيم خاص محلل للبروتين . يحول الإنزيم جسـيمات الكازين بطريقة ما لكي تبدأ في التجمع . يمكن أن يتكســـر الهلام المتكون إلى قطع ، وبتقليب المادة تتكون جزئيات خثارة اللبن والشـــرش . تحتوي خثارة اللبن *The Curd* على جزيئات الكازين وأغلب الدهن ، الشـرش السـائل يحتوي على أغلب مكونات اللبن الذائبة في الماء وبعض البروتين الذي انفصـل عن الكازين بواسطة المنفحة . ويمكن تصنيعها خثارة اللبن لتكوين الجبن .

ويقــدم الجــدول 5.1 بعض الآراء عن خصـــــائص وتكوين اللبن المعــالج بطرق مختلفة وبعض المنتجات اللبنية الســائلة بما فيها الشــرش ، وقد تم ســرد معلومات كثيرة إضـــافية في الفهرس .

مراجع مقترحة ***Suggested Literature***

لقد تمت مناقشـة أغلب الجوانب بصـورة منفصـلة في الفصـول التالية والمراجع سوف تذكر هناك ، مراجع عامة لجوانب كثيرة تم ذكرها خلال صفحات الكتاب .

H.Roginski, J.W.Fuquay, and P.F.Fox, Eds. Encyclopedia of Dairy Sciences. Vols. 1-4, Academic Press, London, 2003.

دراســات جيدة عن تخليق اللبن ، إفرازه ، وجمعه ، بالرغم من عدم حداثتها تم ذكرها في المراجع في جوانب قليلة .

B.L. Larson, Ed, Lactation, Iowa State University Press, Ames , Iowa. 1985.

2 مكونات اللبن *Milk Components*

2- مكونات اللبن *Milk Components*

تمت في هذا الفصل مناقشة خواص المكونات المختلفة للبن . وقد تم التأكيد على الخواص الكيميائية والتفاعلية ، بالرغم من أن بعض الجوانب الأخرى تم ذكرها مثل التبلور *Crystallization* . تم سرد تخليق المكونات والجوانب التغذوية باختصار . وينتهي الفصل بالتغيرات الطبيعية في مكونات اللبن . يؤكد الفصل الثالث الجوانب الفيزيائية لعناصر اللبن التركيبية.

ويجب أن يأخذ القارئ حذره لأن الناس عادة ما يتكلمون عن المكونات ***component*** بينما ما يشيرون إليه في الواقع هو جزء من جزء كبير ؛ فمثلاً محتوى حامض اللينوليك في اللبن يشار إليه عادة بحامض اللينوليك الذي حدث له عملية أسترة في الجلسريدات الثلاثية بدلاً من الحامض الدهني الحر المستخدم .

1.2 اللاكتوز *Lactose*

اللاكتوز أو *D*-4-0 جالاكتوبيرانوزيل – (4, 1) – جليكوبيرانوز هو المادة الكربوهيدراتية الأكثر تواجداً في اللبن ، هذا السكر موجود في ألبان أغلب الثدييات وهو فريد ***unique*** للبن . بتوافر الجلوكوز والجلاكتوز في أيض الثدييات . يخلق اللاكتوز فقط في معقد جولجي للخلايا المفرزة للحليب . ويحدث هذا نتيجة وجود ألفا – لاكتالبيومين α - lactalbumin وهو بروتين فريد في اللبن . هذا البروتين يحور عمل إنزيم جالاكتوزيل- ترانسفيريز *Galactosyl - trensferase* ليحفز تكوين اللاكتوز من يوريدين- ثنائي فوسفات جلاكتوز وجلوكوز *Uridine- diphosphate - galactose and glucose* .

يحتوي لبن الأبقار على آثار من سكريات أخرى مثل الجلوكوز والجلاكتوز ولكن لا يحتوي على سكريات عديدة . وتوجد في اللبن مركبات جلوكوزيدية مثل هكسوزامين *Hexoamines* وحامض *N*- أسيتيل نيرامينيك *N- acetyl neuraminic acid* (انظر شكل

28.2 ، NANA) الموجود في اللبن ولكن أغلبها يكون مرتبطاً مع البروتينات ، وخاصة بروتينات الغشاء أو في السيريبروسيدات *Cerebrosides* (انظر جدول 8.2) .

يمكن فصل اللاكتوز من اللبن بتركه يتبلور . تستخدم عملية البلورة في الإنتاج الصناعي للاكتوز من الشرش على نطاق واسع . يستخدم اللاكتوز في أغذية عديدة وفي الصناعات الدوائية، تحتوي أغلب أقراص الدواء على اللاكتوز كمادة مالئة ، يستعمل اللاكتوز كمادة خام لعدد من الكيماويات أو المشتقات الإنزيمية مثل لاكتيتول *Lactitol* واللاكتيلوز *Lactulose* والسكريات المتعددة *Oligosaccharides* .

1.1.2 الخواص الكيميائية *Chemical Properties*

اللاكتوز سكر ثنائي يتكون من *D*– جلوكوز و *D*– جلاكتوز . وترتبط مجموعة الألدهيد في الجالاكتوز مع مجموعة 4 -*C* للجلوكوز من خلال رابطة بيتا -1-4 الجليكوزيدية (شكل 1.2) . توجد كلا جزيئي السكر بوفرة في شكل بيرانوز حلقي *Pyranose ring* . تشمل تفاعلات كيميائية للكتوز رابطة الاسيتال النصفية *Himiacetal Linkage* بين الكربون –1 والكربون –5 لنصف جزيء الجلوكوز ، الرابطة الجليكوزيدية ، مجموعات الهيدروكسيل والرابطة – c – c – .

بالإضافة إلى ذلك اللاكتوز سكر مختزل . وتحدث تحولات متعاقبة من خلال السلسلة المفتوحة للشكل الألدهيدي . يمكن لمجموعة الألدهيد أن تتفاعل وتستطيع α أنومر و β– أنومر التحول من شكل لآخر (فصل 2.1.2) متفاعلات مناسبة أو إنزيمات يمكنها أن تسبب أكسدة خفيفة للاكتوز ، بينما تتحول مجموعة الألدهيد إلى مجموعة كربوكسيل وفي بعض الأحيان أكسدة أكثر عنفاً تكسر الرابطة الجليكوزيدية وتنتج مجاميع كربوكسيلية في السكريات المتبقية .

يحول الاختزال الخفيف (الهادئ) للاكتوز مجموعة الألدهيد إلى مجموعة كحول ، أما الاختزال الشديد فيحطم أو يكسر الرابطة الجلوكوزيدية وينتج عن ذلك تكوين مجاميع كحولية في السكريات المتبقية .

لا يحدث التحلل المائي للاكتوز بالحامض بســـهولة . وإذا حدث (تحت درجات حرارة مرتفعة وأس هيدروجيني منخفض) فإن تفاعلات أخرى كثيرة تحدث . يمكن أن يتحلل اللاكتوز مائياً باســـتخدام الإنزيم لاكتيز (*D-B* جلاكتوزيديز) . هذا الإنزيم متخصـــص للغاية ويعمل على الرابطة B– 1 ، 4 للجالاكتوبيرانوز المتبقي . بالعمل على اللاكتوز ، ينتج الإنزيم بجانب الجلوكوز والجلاكتوز ، بعض السكريات الثنائية والقليلة الغريبة عن اللبن ونسبة بسيطة من اللاكتوز المتحلل مائياً .

تحدث تفاعلات عديدة للاكتوز عندما يســـخن اللبن . يمكن أن يتبلمر اللاكتوز إلى لاكتيلوز ، ويعني هذا أن الجزء أو النصــف الجلوكوزي ***glucose moiety*** يتحول إلى جزء فركتوزي ***fructose moiety*** (شـــكل 1.2) . عملية بلمرة جزيء الجلوكوز إلى مانوز يمكن أن تحدث كذلك ، وتعطي إبيلاكتوز ***epilactose*** ولكن المركب الأخير يتكون فقط بكميات ضـــئيلة، في تفاعلات البلمرة هذه ، تكون مكونات اللبن نشطة كعوامل مساعدة . كمية اللاكتوز في منتجات اللبن المسخن يمكن أن تستخدم ككاشف عن شدة المعاملة الحرارية . بالتسخين يمكن أن تحدث أيضاً عملية كرملة ***Caramelization*** . يتكون خليط من منتجات متفاعلة تشمل :

هيدروكسي ميثيل فيرفيرال ***Hydroxy methyl furfural***

كحول فيرفيرال ***Furfuryl alcohol***

أسيتول *Acetol*	$CH_3-CO-CH_2OH$
ميثيل جليوكسال *methyl glyoxal*	$CH_3CO-CHO$
فورمالديهيد *Formaldehyde*	$HCOH$
حامض الخليك *Acetic acid*	CH_3-COOH
حامض الفورميك *Formic acid*	$HCOOH$
حامض بيروفيك *Pyruvic acid*	$CH_3-CO-COOH$
حامض ليفيولينك *Levulinic acid*	$CH_3-CO-CH_2-CH_2-COOH$

وتعتمد نســب المنتجات المتكونة على تركيز الســكر والأس الهيدروجيني ووقت التســخين . ودرجة الحرارة .

شكل 1.2 التركيب الكيميائي للاكتوز واللاكتيلوز

Figure 2.1 Chemical structure of β-lactose and of lactulose, and the mutarotation or the glucose moiety of lactos

يحدث تفاعل ميلارد الهام جداً في وجود المركبات الأمينية (في اللبن ، تخص ε – مجموعة الأمين لجزيء الليســين في البروتينات) . يشــمل تكوين قاعدة شــيف ***Schiff base*** بين مجموعة أمينو ومجموعة الألدهيد للاكتوز . منتجات التفاعلات البدائية تدخل سلسلة من إعادة الترتيبات، تؤدي إلى إنتاج منتجات متفاعلة نيتروجينية بالإضافة إلى هذه المنتجات كما ذكر في عملية الكرملة المذكورة ســابقاً . تفاعلات إضــافية تؤدي إلى لون بني ، فقد القيمة الغذائية وفقدان النكهة. جميع هذه التغيرات تحدث بالتخزين الطويل ، وخاصــة أثناء التســخين . التغيرات الأخيرة ســوف تناقَش بالتفصيل في تحت فصل 3.2.7 .

الحلاوة *Sweetness*

تقدر حلاوة اللاكتوز بحوالي 0.3 مرات من حلاوة الســـكروز . الطعم الحلو في اللبن يتم حجبه بواسطة البروتين ، وخاصة الكازين . ولذلك فللشرش طعم أحلى من اللبن . ويكون خليط الجلوكوز والجلاكتوز المتكون بالتحليل المائي أحلى من اللاكتوز .

2.1.2 الجوانب الغذائية *Nutritional Aspects*

يمد اللاكتوز الحيوانات الصـغيرة بالطاقة (حوالي 17 كيلوجول لكل جرام لاكتوز) . ولكن له وظائف أخرى ، مثل إعطاء رائحة حلوة . ولا يمكن اســـتخلاص اللاكتوز من الدم ، يجب أولاً أن يتحلل مائياً إلى جلوكوز وجلاكتوز . يحدث ذلك ببطء والذي يمنع زيادة كبيرة مفاجئة لمسـتوى الجلوكوز في الدم بعد تناول كمية هامة من اللبن . وتعتبر مســـتويات الجلوكوز العالية في الدم غير مرغوب فيها ، بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تصل بعض السكريات (جالاكتوز ولاكتوز) إلى الأمعاء الغليظة (القولون) حيث تســـتخدم كمصـــدر كربوني لعدد من بكتيريا القولون الحميدة . يتحلل اللاكتوز مـائيـاً بواســطـة إنزيم اللكتيز *Lactase* وبـالتحـديـد إنزيم البيتـا جـالاكتوزيـديز *B- galactosidase* (انظر 23.1.2.3) الذي يفرز في الأمعاء الدقيقة . وطبيعياً تحتاج الحيوانات الرضـــيعة هذا الإنزيم ولكن بعد الفطام تقل كمية الإنزيم المنتج إلى مســـتوى غير معنوي ولا ينطبق هذا على كل الحالات في الإنسان . ولكن في 60% من الأطفال فوق 4 سنوات ، ينخفض نشاط الإنزيم إلى 5% إلى 10% ، ولذلك يحدث أيض ضـعيف للاكتوز ، ويســمى هؤلاء الأشــخاص ممتصـين سيئين للاكتوز *lactose mal- absorbers* . وكثيراً ما يسـرع شـرب اللبن نشـاط فلورا القولون . ويتكون لديهم حوالي نصـــف الحالات المذكورة مشـــاكل معنوية تتراوح بين انتفاخات معدية إلى إســـهال شـــديد . وهذا ما يســـمى بعدم تحمل اللاكتوز *Lactose intolerant* . لا يسـتطيع هؤلاء الأشـخاص شـرب اللبن بكميات كبيرة (100 مليلتر في اليوم) وتتراوح نسـبتهم من 10 إلى 90% في مناطق مختلفة . في عشـائر يكون اللبن جزءاً من غذائهم لعدة أجيال (أشـخاص

يعيشون في أو أصولهم من أوروبا وأجزاء من وسط وغرب آسيا والهند وشرق أفريقيا) تكون حالات عدم تحمل اللاكتوز نادرة ، تكون هذه الحالات شائعة في عشائر أخرى . وقد لوحظ أن منتجات اللبن المتخمر (الحامض) ما تنتج بصعوبة حالات عدم تحمل اللاكتوز ، بالرغم من احتوائها على حوالي $\frac{2}{3}$ اللاكتوز الأصلي . وتفسير ذلك ليس واضحاً بشكل كامل . وهناك احتمال آخر وهو معاملة اللبن بإنزيم اللكتيز ومن ثم يتحول اللاكتوز إلى جلوكوز وفركتوز (بالإضافة إلى تكون بعض السكريات القليلة (المتعددة) *Oligosaccharides* وكما ذكر سابقاً فإن هذا يسبب زيادة الطعم السكري بصورة ملحوظة في اللبن .

3.1.2 الجوانب الكيموفيزيائية ***Physicochemical Aspects***

1.3.1.2 التغير الدوراني ***Mutarotation***

يحدث في المحلول تحول من α إلى β لاكتوز وبالعكس . ولذلك نحصل على ثابت

التفاعل K_1 $\alpha - lactose \rightarrow \beta - lactose$

وثابت التفاعل K_2 $\beta - lactose \rightarrow \alpha - lactose$

كلاهما تفاعلات من الدرجة الأولى *first- order reaction* . ونرمز لنسبة التغير الدوراني المتعادل $[\beta]/[\alpha]$ بالرمز R و $K_1/K_2 = R$. معدل تفاعل التغير الدوراني له الثابت $K_2 + K_1 = K$.

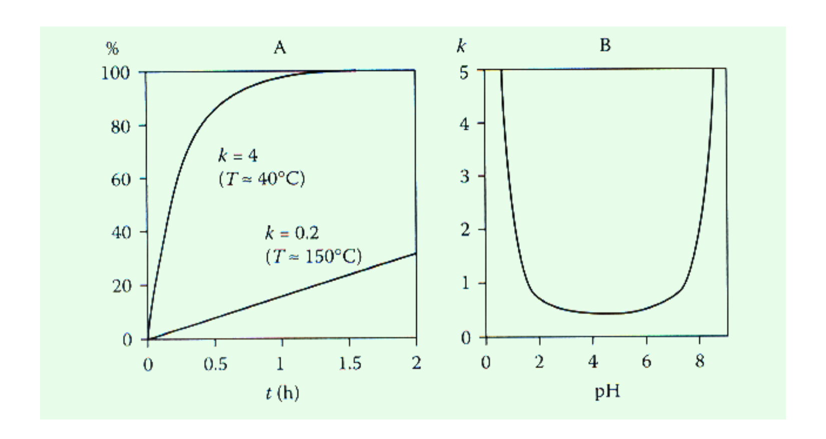
إذا أذبنا مثلاً α- لاكتوز ، وإذا رمزنا لـ $X =$ $[\alpha]/[\alpha]_{اتزان}$ فإننا نحصل على $Kt = \left[R/(X-1)\right] In$ وبمعنى آخر قد تمت نسبة تفاعلات التغير الدوراني عند الوقت t يتم حسابها بالمعادلة $1 - e^{-K_1}$ وبالمثل بالنسبة لتحول β- لاكتوز . أمثلة تم ذكرها في شكل *A.2.2* . يمكن ملاحظة هذه التغيرات باستخدام جهاز قياس القطبية البولاريميتر *Polarimeter* . يلاحظ أن دوران مستوى القطبية قد تغير مع الزمن لأن $\alpha -, \beta -$ لاكتوز يختلفان في الدوران النسبي .

ومن هنا جاء مصطلح التغير الدوراني *Mutarotation* . توجد قيم الدوران النسبي لـ $\beta,\alpha-$ لاكتوز في جدول 1.2 .

يعتمد معدل التغير الدوراني K على درجة الحرارة (شـــكل $A.2.2$) . في درجة حرارة 20 درجة مئوية وأس هيدروجيني قدره 6.7 فإن $K = 0.37$ ســـاعة$^{-1}$ وتقل بعامل 3 أو أكثر لكل ارتفاع في درجة الحرارة قدره 10 درجات مئوية . في درجة حرارة الغرفة ، تحتاج لســـاعات كثيرة قبل أن يصـــل التغير الدوراني إلى التعادل في درجة 70 مئوية نصـــل إليه في دقائق قليلة . يشـــير شـــكل $B.2.2$ إلى التأثير الكبير للأس الهيدروجيني على K . يمكن أن تؤثر مواد عديدة على معدل التغير الدوراني ، فمثلاً تزيد الأملاح في اللبن معدل التفاعل بعامل قدره 2 بالمقارنة مع المعدل في الماء .

التغير الـــدوراني المتعـــادل *The mutarotation equilibrium* يعتمـــد على درجـــة الحرارة : $R \approx 1.64 - 0.0027T$ حيث أن درجة الحرارة T بالمئوي *Celsius* . وعلى ذلك فإن أي تغيير في درجة الحرارة يسبب تغير دوراني .

يعتمـد التغير الـدوراني على تركيز اللاكتوز . فبزيـادة التركيز تقـل وتتغير K تبعاً لـذلـك . وتنخفض بصـورة واضـحة إذا وجدت سـكريات أخرى مثل السـكروز بتركيز عالي . عند تركيز عالٍ جداً للاكتوز ، أي في لاكتوز غير متبلور مثلاً ، يوجـد في رذاذ بودرة لبن مجفف *Spray-dried milk powder* بعد التعادل $R = 1.25$ ، التغير الـدوراني لا يعتمـد على درجة الحرارة ولكن يظل موجوداً بصورة منخفضة .



شـكل 2.2 التغير الدوراني في محاليل اللاكتوز (A) مسـار التفاعل (% الانتهاء) مع الوقت T . (B) ثابت تفاعل التغير الدوراني K (ساعة$^{-1}$) كدالة الأس الهيدروجيني (عند درجة حرارة 25 درجة مئوية)

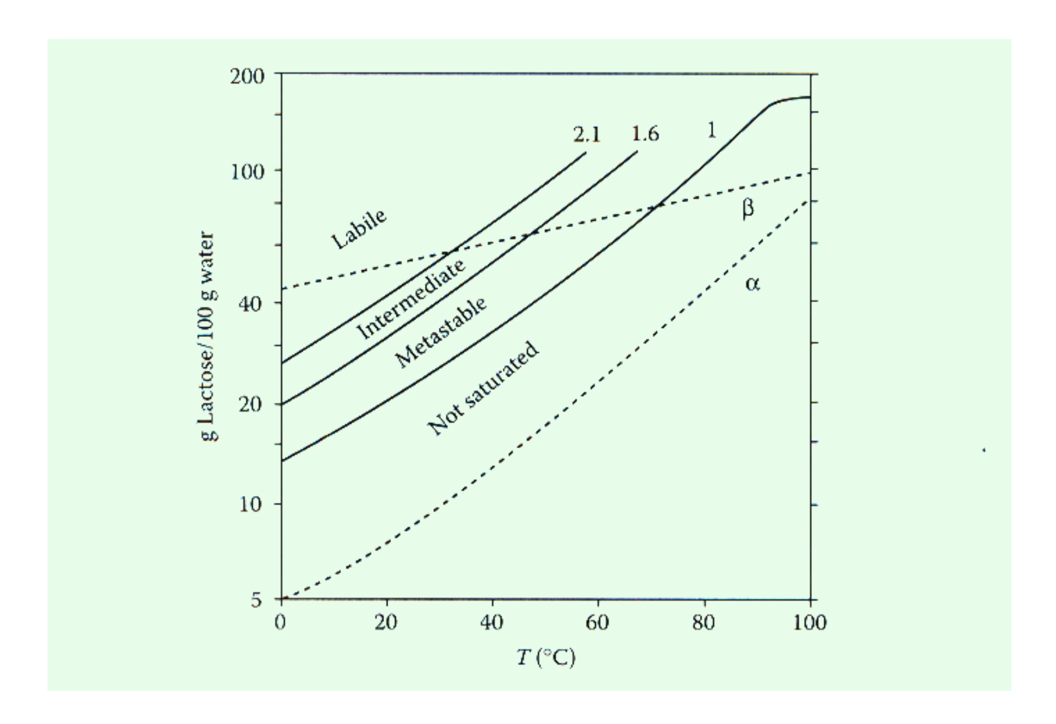
Figure 2.2 Mutarotation on lactose solutions. (a) Course of the reaction (% finished) against time *t*. (B) Mutarotation reaction constant *K* (h^{-1}) as a function of pH (~25°C). (Data from H.C. Troy and P.F. Sharp, *J. Dairy Sci*., 13, 140, 1930)

2.1.2 الذوبانية ***Solubility***

كما يشـاهد في شـكل 3.2 ، α,β- لاكتوز يختلفا بصـورة ملحوظة في درجة ذوبانها التي تعتمد على درجة الحرارة . إذا أحضـرنا α- لاكتوز في الماء فإنه يكون أقل ذوباناً ويبقى لمدة أطول وذلك بسـبب التغير الدوراني : α- لاكتوز قد تحول إلى β- لاكتوز وحيث أن تركيز الـ α يقل بسبب هذا التحول وأيضاً بسبب ذوبانه الأعلى . إذا أحضرنا β- لاكتوز في الماء فإنه يذوب أكثر خاصـة تحت 70 درجة مئوية : عند التغير الدوراني تسـتطيع أشـكال α- لاكتوز أن تظل ذائبة ويبدأ α- لاكتوز في تكوين بلورات . وعلى ذلك فالذوبان يعتمد جزيئاً على التغير الدوراني المتعادل ومعدل التحلل وعلى معدل التغير الدوراني . وما يسـمى الذوبان النهائي يعني الـذوبـان الكـامـل لـ α- أو β- لاكـتـوز . وتـكـون $1+R$ مـرة الـذوبـان الأولى لـ α- لاكتوز . وهذا يتحقق تحت درجة حرارة قدرها 93.5 درجة مئوية لأنه فوق هذه الدرجة يحدد ذوبان β- لاكتوز النهائي . نحتاج عند درجة حرارة منخفضـة لوقت طويل لكي نصـل إلى التعادل .

يمكن أن يصـل محلول اللاكتوز إلى مرحلة فوق التشـبع بسـهولة وإلى درجة معتبرة ، كما يشـاهد في شـكل 3.2 . عند تركيز قدره 2.1 مرة من التركيز المشـبع ، وتحدث بسـرعة عمله بلورة

وقتية . لأنه من المحتمل أن يحدث تكون لأنوية متجانســـة (تكون أنوية في محلول نقي) . عند أقل من 1.6 مرة تركيز التشـــبع تحتاج لزراعة بلورات لكي تبدأ عملية البلورة *Crystallization* وإلا سوف تحتاج لفترة طويلة للوصول إلى ذلك .



شـــكل 3.2 ذوبانية $\alpha-,\beta-$ لاكتوز ، الذوبان النهائي للاكتوز (منحنى 1) ، والمحلول فوق المشـــبع بعامل 1.6 و 2.1 كدالة عن درجة الحرارة

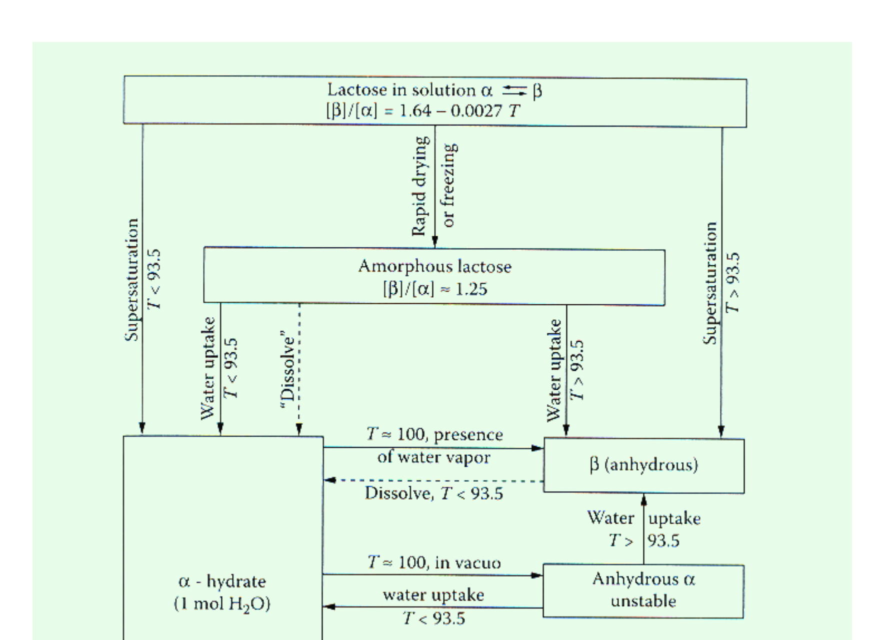
Figure 2.3 Solubilities of α- and β-lactose, final solubility of lactose (curve 1), and supersaturation by a factor of 1.6 and 2.1, as a function of temperature. (From P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984. With permission)

يـكـون المحـلـول في حـالـة بعـد اتـزان *Metastable* في المـنطـقـة المتـوســـطـة *Intermediate region* تعتمد عملية البلورة على عدة عوامل أهمها عنصر الوقت .

3.3.1.2 أشكال البلورة *Crystal Forms*

عادة يتبلور α لاكتوز كمُتميّه يحتوي على جزيء واحد ماء من عملية البلورة . تكون البلورات صلبة جداً ، ماصة للرطوبة ، وعادة ما تكون كبيرة ، وتذوب ببطء ، ماء البلورة يكون مرتبطة بشدة فوق 93.5 درجة مئوية ، β– لاكتوز اللامائية تتبلور من محلول مائي . β– لاكتوز ليس شرهاً في امتصاص الرطوبة ويذوب بسرعة ، درجة ذوبانه جيدة . وواضح أن إزالة رطوبة α لاكتوز المتِمَيّه صعبة ويمكن أن يسبب مشاكل عندما نقدّر محتوى المادة الصلبة للبن والمنتجات اللبنية ، يتطلب هذا التقدير تبخير الماء عند درجة حرارة البخر ، تثبيت درجة الحرارة أعلى من 93.5 درجة مئوية أثناء التجربة تكون مطلوبة لكي تمنع تكوين بلورة α لاكتوز المتَميّهة .

يتكون اللاكتوز غير المتبلور أثناء التجفيف السريع في مجفف بالرذاذ . يوجد في الحالة الزجاجية (انظر 4.1.10) . والتي تعني أن خصائص عديدة شاملة الصلابة ، تكون الكثافة والحرارة النوعية مشابهة للسكر المتبلور ، ولكن ترتيب الجزيئات ليس بنفس الترتيب تماماً ، يحتوي اللاكتوز غير المتبلور على نسبة قليلة من الماء ويمكن أن يذوب بسرعة بإضافة الماء ولكن بعد ذلك ، يمكن أن يبدأ α – لاكتوز المتَميّه في تكوين بلورات . إذا كان محتوى ماء اللاكتوز غير المتبلور منخفضاً أي 5% ، تتوقف عملية البلورة . ويجذب المنتج الماء من الهواء الرطب المحيط ، وعندما ترتفع الرطوبة إلى 8% ، يبدأ α – لاكتوز المِميّه في عمل بلورات في درجة حرارة الغرفة . إن تأجيل أو توقف عملية البلورة عامل هام بالنسبة للمسحوق المجفف بالرذاذ المصنوع من اللبن المنزوع الدهن أو الشرش لأنه يؤدي إلى تكوين كتل صلبة في المسحوق . وأخيراً تتحول كتلة المسحوق الكلية إلى كعكة صلبة واحدة ، يمكن أن تحدث تحورات عديدة أخرى لبلورة اللاكتوز شكل 4.2 يعطي مسح يشمل التحورات الانتقالية ، من المستحيل الحصول على بلورات نقية ، فمثلاً α– لاكتوز المِميّه عادة ما يحتوي على نسبة قليلة من β– لاكتوز وبالعكس .



شكل 4.2 أشكال مختلفة للاكتوز . T= درجة الحرارة (C°)

Figure 2.4 The different forms of lactose. *T* = temperature (°C)

إن الأشـــكال المختلفة التي تم ذكرها هي تحورات بلورية مختلفة أي أن لها نظاماً بلورياً شـــبكياً مختلفاً ، ونتيجة لذلك تكون الخواص مختلفة . فمثلاً التحور الثابت لبلورة α– لاكتوز ويســمى أيضــاً S– لاكتوز تكون ذائبة في الماء . ولكن المحلول المركز يكون غير ثابت ، وهذا يعني أن α– لاكتوز المميّه يبدأ في البلوَرة . S– لاكتوز ليس ماصاً للرطوبة الشكل α لاكتوز غير المائي

غير ثابت يكون ماصاً للرطوبة وتبعاً لذلك تحوله إلى α– لاكتوز المميّه يحدث بسهولة . ويذوب السكر أسرع من α– لاكتوز المميّه .

4.3.1.2 بلورة α– لاكتوز المميّه ***Crystallization of*** $-\alpha$ ***Lactose Hydrate***

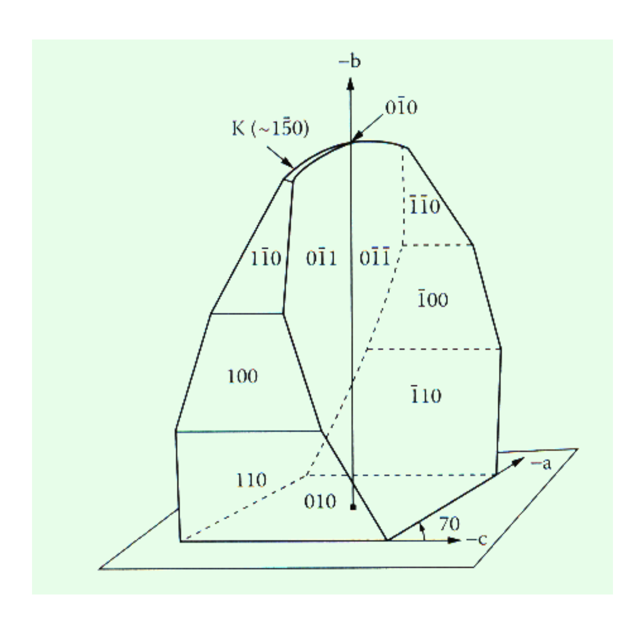
هذه البلورة لها أهمية عملية كبيرة ، لأن α– لاكتوز المميّه فقير الذوبان . يمكن أن يتبلور في بعض المنتجات اللبنية وخاصة الأيس كريم واللبن المكثف المحلى . بلورات كبيرة يمكن أن تتكون لأن تكون الأنوية ونمو البلورة يكون بطيئاً . ويجب إضافة بلورات عديدة لكي نؤكد سرعة تكوين بلورات صغيرة الحجم وكافية ، ولكي نمنع تبعثر وتكوين ما يشبه حبيبات رمل "*Sandiness*" في المنتجات اللبنية ، يجب أن تكون البلورات الكبيرة المتكونة أكبر من 10 ميكرومتر في الحجم وهذا يستوجب وجود 10^{10} بلورة لكل جرام من اللاكتوز المتبلور على الأقل .

بلورات α لاكتوز المميه يمكن أن يكون لها أشكال جيوميترية عديدة (ولكن نظام شبكة البلورة يكون دائماً متشابهاً) الشكل المعتاد هو "*tomahawk*" التمهوك (شكل 5.2) . عادة البلورة لا تنمو في اتجاه المحور b أي أن أوجه البلورة $K, 0\bar{1}0$ أو $1\bar{5}0$ وبالمثل الـ $1\bar{1}0$ $0\bar{1}1$ أوجه جانبية لا تنمو على الإطلاق ، وبالتالي تكون قمة البلورة أيضاً النقطة التي تبدأ البلورة في النمو . بالإضافة إلى ذلك يكون نمو البلورة بطيئاً ، أبطئ ما يمكن أن يكون حسابه بالتأثيرات المجتمعة من التغير الدوراني وانتشار α– لاكتوز إلى البلورة .

وعلى فرض أن هناك بعض الصعوبات في ملاءمة الجزئيات داخل شبكة البلورة ولكن ملاحظة الفقرة السابقة يتم شرحها كلياً بتثبيط β– لاكتوز ويظهر أنه إذا لاءم β– لاكتوز جيداً داخل الأسطح $0\bar{1}0$ و $0\bar{1}1$ لشبكة البلورة ولكنه بعد ذلك يمنع أي إضافة لـ α – لاكتوز ، يتم أيضاً تثبيط نمو الأسطح الأخرى (شكل 6.2 وجدول 1.2) إذا كانت كميات صغيرة من β– لاكتوز موجودة (هذا الشرط صعب تحقيقه) الأسطح $0\bar{1}1$ تنمو بسرعة مسببة

تكوين بلورة إبرية الشكل ، يمكن أن تؤخر مواد أخرى عديدة نمو البلورة ، يتم تثبيط أسطح البلورة الفردية بطرق مختلفة ، والتي تؤدي إلى تغيرات في سـلوك البلورة . أمثلة لنمو "المثبطات" موجودة في جدول 2.2 . توجد بعض المثبطات مثل الريبوفلافين في اللبن ، يمكن أن تسـرع بعض الإضـافات معدل نمو بعض أوجه البلورة .

إن مثبطاً واحداً محدداً لنمو البلورة يجب أن يذكر إذا تم تنقية α لاكتوز المميّه عن طريق إعادة البلورة ، فإن معدل نمو البلورة يقل (جدول 1.2) وبالإضـــافة إلى ذلك بتناقص الأس الهيدروجيني لمحاليل اللاكتوز عند إعادة البلورة .

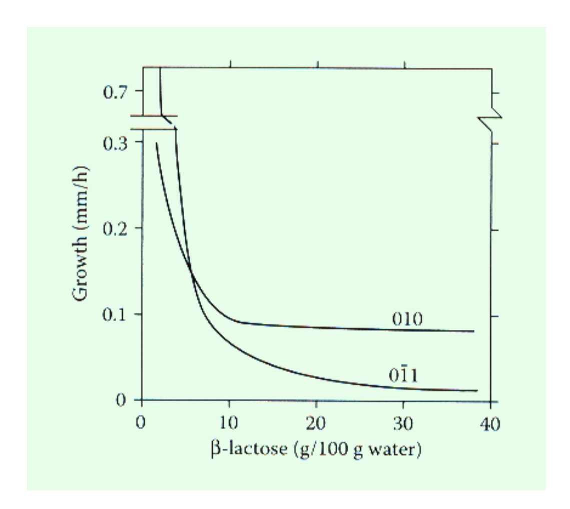


شكل 5.2 الشكل المعتاد لبلورة α− لاكتوز المميّه . المحاور الرئيسية (c,b,a) ودلالات الأوجه المختلفة تم توضيحها

Figure 2.5 Common shape of the α-lactose hydrate crystal. The main axes (a, b, c) and the indices of the various faces are given. (Adapted from P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984)

ويظهر أن مثبط نمو البلورة يكون موجوداً . وأن له علاقة أقوى ببلورة اللاكتوز عن α− لاكتوز نفســها . المثبط هو خليط من اللاكتوز أحادي الفوســفات ، تركيزه في اللبن حوالي 15

مليجرام/لتر-1 ويثبط عملياً عند فوق التشـــبع المنخفض ويســـبب تثبيط تكون النواة في محاليل اللاكتوز، ويمكن أن تزال المادة بواسطة المبادلات الأيونية .



شــكل 6.2 تأثير تركيز β– لاكتوز على معدل نمو بعض أوجه شــبكة α– لاكتوز المميّه . فوق تشــبع α– لاكتوز يكون عند 170%

Figure 2.6 Effect of the concentration of β-lactose on the growth rate of some faces of the α-lactose hydrate crystal. Supersaturation of α-lactose is by 170%. (Data from A. van Kreveld, *Neth. Milk Dairy J*., 23, 258, 1969

2.2 الأملاح *Salts*

يحتوي اللبن على أملاح عضـــوية وغير عضـــوية . لا يعـادل مفهوم الأملاح المواد المعدنية، الأملاح مكافئة لل "الرماد" لأن رماد اللبن يسبب فقد الأحماض العضوية وتشمل السترات والأسيتات ، ولأن الفسفور العضوي والكبريت يتحولان إلى أملاح معدنية أثناء عملية الترميد .

جدول 1.2 أمثلة لمعدل نمو بعض أوجه بلورة α– لاكتوز المميّه وتأثره بمكونات السائل

Table 2.1 Examples of the Rate of Growth of Some Faces of an α-Lactose Hydrate crystal as Affected by Liquid Composition

نمو (ميكروميتر/ساعة-1) وجه البلورة Growth (μm-h-1) of Face	ملاحظات Remarks	نسبة (%) فوق التشبع Supersaturation (%)

		010	110	100	$1\bar{1}0$
55	_	3.8	3.3	1.3	0.3
120	_	43	34	21	12
55	+100 ppm riboflavin +100 ppm ريبوفلافين	2.7	0.0	0.0	0.0
55	أس هيدروجيني (~ 4) Own pH (~4)	3.2	2.7	1.6	0.4
55	أس هيدروجيني 7 pH7	6.6	5.0	2.7	1.2
55	3 × إعادة بلورة 3 × recrystallized	0.2	0.7	1.3	0.5
55	غير أيونية[a] Nonionic[a]	19.1	9.1	3.1	1.2
55	غير أيونية + مثبط[b] Nonionic + inhibitor[b]	0.0	0.0	0.9	0.5

1. محلول قد مر خلال متبادل أيوني .
2. لاكتوز أحادي الفوسفات *Lactose monmophosphates*

1.2.2 المكونات والتوزيع بين الحالات

Composition and Distribution Among the phases

توجد متوسط تركيزات الأملاح في اللبن في جداول 3.1 و 2.2 و 4.2 . تختلف مكونات الملح ولكن المكونات المختلفة غير معتمدة على بعضها البعض .

ليس كل الأملاح تكون ذائبة وليس كل الأملاح الذائبة تكون متأينة ، تحوي جسيمات الكازين الأملاح غير الذائبة ، بالإضافة إلى الأيونات المضادة للكازين سالبة الشحنة ، تحوي الجسيمات ما يسمى فوسفات الكالسيوم شبه الغروي الذي يحتوي أيضاً على الماغنسيوم ، والصوديوم ، والبوتاسيوم ، بجانب كميات صغيرة لأيونات أخرى . تكون الفوسفات

شـــبه الغروية غير متبلورة ، ويمكن أن تختلف في المكونات ويمكن أن يكون لها خواص متبادلات أيونية .

يكون توزيع الفسفور بين الأجزاء أكثر صعوبة ، التفصيلات موجودة في جدول 3.2. من المهم أن نلاحظ أن الفوسـفاتيزات الموجودة في اللبن يمكنها تحليل إسـترات حامض الفوسـفوريك مائياً وتسبب نقص محتوى الفوسفات العضوية وتزيد الفوسفات غير العضوية . يحتوي اللبن على الكبريت في أشـــكال عديدة ، ليس أكثر من 10% كبريت في اللبن وهي تعادل حوالي 36 مليجرام/100 جرام لبن وتكون موجودة كســلفات غير عضـــوية ، بينما يكون الباقي موجوداً في البروتين .

تؤثر الأملاح الذائبة في خواص اللبن ، أي ثباتية البروتين . تكون هذه الأملاح موجودة فقط في المصـــل . لاحظ أن محتوى المادة المذابة في المصـــل حوالي 1.09 مرة المحتوى في اللبن . في البلازما تكون حوالي 1.04 مرة المحتوى في اللبن (انظر أيضاً فصل 1.10) .

تم تعيين مكونات المحلول الملحي في اللبن عن طريق ديلزة اللبن (فصـل المواد شـبه الغروية عن المواد الأخرى القابلة للذوبان) . يمكن أن نحصـل على المحلول بديلزة الماء ضـد كمية كبيرة زائدة من اللبن . كمـا في حـالـة تعـادل مع الجزيئـات شـــبـه الغروية والبروتين الـذائـب في اللبن . ولا تعكس بالضـــبط تركيزات الأملاح الذائبة المختلفة في الماء . أولاً جزء من الماء في اللبن تكون غير متوفرة كمذيب (فصـل 1.10) . ثانياً ، للبروتين "طبقة مزدوجة منتشـرة" ولذلك تكون محاطة بجزيئات مضـادة من الكاتيونات المصـاحبة لجسـيمات الكازين (جدول 2.2) . جميعها من الصـوديوم والبوتاسـيوم وأغلب الماغنسـيوم وجزء صـغير من الكالسـيوم يكون موجود كجزيئات مضادة، تأخذ بروتينات المصل أيضاً حولها جزيئات مضادة .

العناصر النادرة *Trace elements* هي عناصر لا يوجد منها سوى آثار في اللبن ، منها الزنك موجود بتركيزات عالية أي حوالي 3 مليجرام/كيلوجرام من اللبن ، بينما تكون عناصـر أخرى

موجودة بتركيزات أقل . يزداد عدد العناصر النادرة المعروفة مع زيادة تطور الطرق الحساسة للتحليل، تم سرد العناصر النادرة في الفهرس جدول 8.*A* .

العناصر النادرة مكونات طبيعية في اللبن ، يمكن أن تزداد تركيزات بعض هذه العناصر في اللبن بزيادة مستواهم في نسبة غذاء البقرة ، وبالتالي تتغير تركيزاتهم بصورة واسعة في اللبن ، فمثلاً يتراوح السيلينيوم *Se* بين 4-1200 ميكروجرام/كيلوجرام من اللبن ، لا تتأثر تركيزات بعض المعادن بغذاء الماشية ماعدا عند نقصها أو عجزها (مثل النحاس والحديد) ، أو إذا كانت مستوياتها عالية في النسبة مسببة تسمماً للبقرة (مثل الرصاص *pb*) وفي النهاية يمكن دخول بعض العناصر اللبن بالتلوث بعد عملية الحلب .

يمكن أن يزيد التلوث التركيزات . فمثلاً محتوى النحاس الطبيعي في اللبن حوالي 20 ميكروجرام.كيلوجرام$^{-1}$ (يحتوي اللبن على محتوى أعلى) ملامسة اللبن للأجزاء البرونزية في أدوات الحلب أو لأنابيب النحاس يمكن أن يزيد محتواها من النحاس بسهولة إلى 1 مليجرام.كيلوجرام$^{-1}$ ، ويستطيع الحديد أيضاً أن يدخل اللبن نتيجة للتلوث .

يعرف القليل عن توزيع العناصر النادرة بين الأجزاء ، يكون جزء من المعادن مرتبطاً بالبروتين مثل بعض المعادن الثقيلة مع اللاكتوفيرين ، بينما تكون أغلب العناصر الأخرى ذائبة . يكون حوالي 10% من النحاس وحوالي نصف الحديد مرتبطاً مع كريات دهن الغشاء ، يكون الزنك سائداً في الفوسفات شبه الغروية .

تعتبر بعض المعادن النادرة هامة من الناحية الغذائية ، بينما تكون بعض العناصر مثل الكادميوم والزئبق والرصاص سامة ، ولذلك يكون من الصعوبة تعيينها في اللبن بتركيز عالي .

جدول 2.2 الأملاح الأكثر أهمية في اللبن وتوزيعها بين المصل وجسيمات الكازين

Table 2.2 The Most Important Salts in Milk and Then Distribution Between Serum and Casein Micelles

المركب Compound	الكتلة المولارية Molar mass (Da)	المدى Range (mg/100Kg)	المتوسط Average (mg/100g)	نسبة الجزء في المصل Fraction present in serum	في الجسيمات In micelles (mmol/g dry casein)
الكتيونات Cations					
الصوديوم Na	23	17-28	48	0.95	0.04
البوتاسيوم K	39.1	31-43	143	0.94	0.08
الكالسيوم Ca	40.1	29.32	117	0.32	0.77
المغنيسيوم Mg	24.3	4-6	11	0.66	0.06
الأمينات Amines	-	~1.3	-	~1	-
الأنيونات Anions					
الكلور Cl	35.5	22-34	110	1	-
الكربونات CO_3	60	~2	10	~1?	-
الكبريتات SO_4	96.1	~1	10	1	-
الفوسفات PO_2^{a}	95	19-23	203	0.53	0.39
السترات Citrate[b]	189	7-11	175	0.92	0.03
الأحماض الكربوكيلية Carboxylic acids	-	1-4	-	~1?	-
الاسترات الفوسفورية Phosphoric esters[c]	-	2-4	-	1	-

a. غير عضوي فقط Inorganic only

b. $(CH_2 - COO^-) - (COH - COO^-) - (CH_2 - COO^-)$

c. ذائب soluble

جدول 3.2 التوزيع التقريبي للفسفور في اللبن

Table 2.3 Approximate Distribution of Phosphorus in Milk

مستخلص لكحول أثيلي/إيثير Extractable with ethanol/ether	ذائب في TCA Soluble in TCA[a]	الديلزة تحت أس هيدروجيني منخفض Kialyzable at low pH	الديلزة ضد الماء Dialzable against water	التوزيع Distrbution	المكان Location	النوع Type
No	No	No	No	22	Casein micelles[b]	أسترة إلى كازين Esterified to casein
Yes	No	No	No	1	Fat globules and serum	أسترة في ليبيدات فسفورية Esterifed in phospholipids
Yes	Yes	Yes	Yes	9	Serum	استرات أخرى Various esters
No	Yes	Yes	No[c]	32	Casein micelles	غير عضوية شبه غروية Inorganic "colloidal"
No	Yes	Yes	Yes	36	Serum	غير عضوية ذائبة Inorganic, dissolved

ملحوظة ، اللبن يحتوي على حوالي 1 جرام فسفور لكل كيلوجرام .

a. التركيز النهائي 12% حامض تراي كلوروحامض الخليك .

b. جزء صغير في المصل خاصة تحت درجة حرارة منخفضة .

c. ديلزة جزئية ضد زيادة من الماء .

Note: Milk contains approximately 1 g phosphorus per kg.
a. Final concentration 12% trichloroacetic acid.
b. A small part in the serum, especially at low temperature.
c. Partly dialyzable against an excess of water.

يكون النحاس ذا أهمية كبيرة لمصـــنع الألبان نتيجة لتأثيره المســـاعد في الأكســـدة الذاتية للدهن . "النحاس الطبيعي" في اللبن لا يزيد من الأكســـدة أو قد يحدث ذلك بصـــعوبة ، ولكن النحاس المضـــاف غالباً ما يزيد الأكســـدة ، عندما يضـــاف بكميات صـــغيرة جداً . المنجنيز هام في أيض بعض بكتيريا حامض اللاكتيك وخاصـــة لتخمر الســـترات ، يكون المنجنيز

في بعض الألبان منخفضاً للغاية لإنتاج الأسيتيل الثنائي *diacetyl* بواسطة بكتيريا الليكونوستك *Leuconostocs* .

2.2.2 خواص المحاليل الملحية *Properties of the Salt solution*

الأملاح الذائبة فقط هي الوحيدة التي تؤخذ في الاعتبار هنا أي الأملاح في مصل اللبن ، لا يتبع التركيب ببساطة ما هو موجود في جدول 3.2 بسبب المشاركة القوية للأيونات . بعض الأحماض والقواعد في اللبن (حامض الفوسفوريك ، حامض الكربونيك ، الأمينات الثانوية ، ... الخ) ليست متأينة بالكامل عند الأس الهيدروجيني للبن . لكن بعض الأملاح يمكن أن تكون مترابطة جزيئاً أيضاً . هذا يخص أولاً ارتباط الكالسيوم Ca^{2+} والماغنسيوم Mg^{2+} بالسيترات$^{3-}$ والهيدروجين فوسفات HPO_4^{3-} وبالتالي يكون تركيز أيونات الكالسيوم$^{2+}$ أكثر انخفاضاً عن تركيز أيونات الكالسيوم الذائبة ، لأن الكالسيوم–سترات و الكالسيوم هيدروجين فوسفات $CaHPo_4$ تكون موجودة بكميات محسوسة ، لا تكون بعض الأملاح أيضاً مثل كلوريدات الصوديوم ، البوتاسيوم ، الكالسيوم والمنجنيز متأينة بالكامل . يمكن حساب التكوين الأيوني التقريبي من التكوين الذري لمحلول ملح اللبن وثوابت الارتباط *Association constants* . سجلت النتائج في جدول 4.2 .

يجب أن تعتمد هذه الحسابات على الأنشطة (a بالمول/لتر) فضلاً عن التركيزات (m بالمول/لتر) . تحكم الأنشطة معدلات التفاعل وبالتالي حالة التأين ، تحسب العلاقة بين a و m لمادة x بالعلاقة :

$$\delta_x m_x \cong ax \qquad (2.1)$$

حيث δ هي معامل النشاط . إذا كانت القوة الأيونية الكلية (I) ليست عالية للغاية ، ولنقل أن $I < 0.1$ ، معامل النشاط الأيوني الحر لنوع أيوني في الماء في درجة حرارة الغرفة يكون :

$$(I^{1/2} Z^2 0.8-) \exp \approx \delta \qquad (2.2)$$

حيث z هي تكافؤ الأيون (i) و I تحسب من المعادلة :

$$Z_i^2 m_i \sum \frac{1}{2} = I \qquad (2.3)$$

توضـــح النتائج الموجودة في جدول 6.2 أن في اللبن $I \approx 0.075$ حيث δ للأيونات الأحادية *mono-* و الثنائية *di-* والثلاثية *trivalent* في اللبن هي 0.80 و 0.42 و 0.14 على الترتيب . هذه القيم تقريبية . كل ثوابت الارتباط والتحلل والمنتجات الذائبة كما ذكرت في الكتب مثل ما يسمى الثوابت الداخلية *Intrinsic constants* المتعلقة بالنشـاطات وتطبق فقط على التركيزات ، فإذا كانت $1 \leftarrow 0$ حيث $1 \leftarrow \delta$ فإن $m \leftarrow a$.

ربط ثوابت الارتباط بالتركيزات الناتجة "الثوابت *Stoichiometricl*" في هذه الحالات القوة الأيونية يجب أن تسجل دائماً .

بإهمال ارتباط الأيونات وعدم السـماح لمعامل النشـاط يمكن أن يسـبب انحرافات معتبرة، خاصـة بالنسـبة للأيونات عديدة التكافؤ . دعنا نذكر مثلاً ذوبانية سـترات الكالسـيوم . ذوبانية سـترات الكالسـيوم تكون 2.3×10^{-18} مول . كيلوجرام$^{-5}$ (جدول 5.2) إذا أخذنا التركيزات الكلية للكسالسيوم والستيرات في مصل اللبن (تقدر بـــ 10 ميليمول . كليوجرام$^{-1}$) ولكن وجد أن قيمة الذوبانية هي 10^{-10} مول^{5} . كيلوجرام$^{-5}$ أي حوالي 4×10^{7} مرة قيمة الذوبانية . وبمعنى آخر يمكن لمصل اللبن أن يكون فوق التشبع بالنسبة لسترات الكالسيوم بعامل قدره $(4 \times 10^{7})^{\frac{1}{5}} = 33$. ولكن أيونات الكالسيوم$^{2+}$ والسيترات$^{-3}$ يجب أخذها في الاعتبار بصورة واضحة . من جدول 6.2 نرى ما يلي :

$$10^{-16} \times 8.3 = (10^{-3} \times 0.3)^2 \times (10^{-3} \times 2.1)^3 = [\text{Citrate}^3]^{-2} \times [Ca^{+2}]^3$$

وهذا يؤدي إلى فوق التشـــبع بعامل قدره $360^{\frac{1}{5}} = 3.2(320\%)$. تكون قيمة الذوبانية تبعاً لذلك خاصـية داخلية ، وبالتالي يجب إدخال النشـاطات عن التركيزات ، وتكون قيمة الأيونات مضـروبة في $(\delta Ca^{+2})^3 \times (\delta Citrate^{-3})^2 \approx 0.42^3 \times 0.14^2 \approx 1/5 \times 10^{-3}$. وعلى ذلـك تكون قيمـة النشـــاطات فقط نصـــف قيمة الذوبانية . أي أن التركيز هو 88% من تركيز التشـــبع ، النتائج المســتخدمة ليســت قيمة للغاية ، ويمكن أن تكون النتيجة غير صــحيحة . يجب أن يكون اللبن مشبعاً بالنسبة لسترات الكالسيوم لأن السترات تكون غير ذائبة جزئياً (جدول 2.2) .

جدول 4.2 متوسط مكونات مصل اللبن المقدرة أي المحلول الملحي للبن شاملاً المواد الذائبة

Table 2.4 Estimated Average Composition of Milk Serum, i. e. The Salt Solution of Milk. Including the Other Dissolved Substances

Neutral معادل		Anions الأنيونات					Cations الكاتيونات				
m	Molecule	a	mz^2	-mz	m	Ion	a	mz^3	mz	m	Ion
0.7	KCl	25.0	30.9	30.9	30.9	Cl^-	29	36.3	36.3	36.3	K^+ البوتاسيوم
0.4	NaCl	0.4	3.8	1.9	1.0	SO_4^{2-}	17	20.9	20.9	20.9	Na^+ الصوديوم
0.1	$CaSO_4$	0.1	0.1	0.1	0.1	KSO_4^-	0.84	8.0	4.0	2.0	Ca^{++} الكالسيوم
0.6	$CaHPO_4$	-	2.3	0.8	0.3	$Citrate^{2-}$	0.2	0.3	0.3	0.3	كلوريـد الكالسيوم $Cacl^+$
0.3	$MgHPO_4$	-	0.2	0.1	-	$HCitrate^{2-}$	0.1	0.1	0.1	0.1	كالسيوم هيدروجين فوسفات CaH_2PO_4
0.2	KH_2PO_4	5.6	7.0	7.0	7.0	CaCitrate	0.34	3.2	1.6	0.8	Mg^{2+}
0.1	NaH_2PO_4	1.6	2.0	2.0	2.0	$MgCitrate^-$	0.1	0.1	0.1	0.1	$MgCl^-$
0.2	$CaROPO_3$	2.4	3.0	3.0	3.0	$RCOO^-$	0.6	0.7	0.7	0.7	RNH_3^-
0.1	$MgROPO_3$	11	10.6	3.5	2.6	HPO_4^{2-}	2×10^{-4}				H^+
6.2	CO_2	6.81	7.5	7.5	7.5	$H_2PO_4^-$					

0.1	H_2CO_3	0.4	0.5	0.5	0.5	$KHPO_4^-$			
14.7	Loctoge	0.3	0.4	0.4	0.4	$NaHPO_4^-$			
5	Urea	0.7	6.4	3.2	1.6	$ROPO_3^{2-}$			
4	Other	0.4	0.5	0.5	0.5	$HROPO_3^-$			
		0.1	0.1	0.1	0.1	$KROPO_3^-$			
		0.1	0.1	0.1	0.1	$NaROPO_3$			
		0.5	0.5	0.5	0.5	HCO_3^-			
159.1	Total الإجمالي		78.2	65.0	58.7	Total الإجمالي	69.8	65.1	62.2

لكل كيلوجرام من اللبن اضرب في 0.904– ، لكي تحول إلى المليميول لكل كيلوجرام ماء في اللبن اضرب في 1.045~ .

1. الأس الهيدروجيني = 6.7 ، m = التركيز بالمليميول/لتر محلول .
2. العكافؤ a = نشاط الأيون الحر ، لتحويل المكون إلى ميليمول .

Note: pH = 6.7; m = concentration in mmol/1 solution; z = valency; a = free-ion activity; - = <0.05.
To convert the composition to millimoles per kg of milk, multiply by 0.904; to convert to millimoles per kg water in milk, multiply by 1.045.

جدول 5.2 ذائبية ذوبانية المنتجات الداخلية عند درجة حرارة 20 مئوية (نشـــاطات الأيون بالمولات لكل كيلوجرام ماء)

Table 2.5 Intrinsic Solubility Products at 20°C (ion Activities in Moles/Kg water)

Unit الوحدة	Solubility product ذوبانية المنتج	Compound المركب
$mol^5 . Kg^{-5}$	23×10^{-18}	$Ca_3Citrate_2$
$mol^2 . Kg^{-2}$	26×10^{-7}	$CaHPO_4 2H_2O$
$mol^8 . Kg^{-8}$	1.2×10^{-47}	$Ca_4H(PO_4)_3$
$mol^5 . Kg^{-5}$	$\sim 2 \times 10^{-29}$	$Ca_3(PO_4)_2$
$mol^9 . Kg^{-9}$	$\sim 10^{-58}$	$Ca_5OH(PO_4)_3$
$mol^3 . Kg^{-3}$	$\sim 10^{-4}$	$Ca(CH_3CHOHCO_2)_2$
$mol^2 . Kg^{-2}$	1.5×10^{-4}	$MgHPO_4 3H_2O$

إضـافة ملح متعادل مثل كلوريد الصـوديوم إلى اللبن سـوف يسـبب بعض الارتباطات المضـافة للصـوديوم Na^+ مع السـترات$^{-3}$. وأكثر أهمية زيادة القوة الأيونية *Ionic strength* . ونتيجة لذلك نقل جميع معاملات النشـاط الأيوني (انظر المعادلة 2.2) وبالتالي تنخفض تبعاً لذلك النشـاطات الأيونية ونشـاط المنتج أيضـاً ونتيجة لذلك تذوب كميات زائدة من سـترات الكالسـيوم (فمثلاً زيادة القوة الأيونية من 0.08 مولر إلى 0.12 مولر سـوف يزيد قوة الإذابة الأيونية بحوالي 35%) . القاعدة العامة لذلك هي ، أي زيادة للقوة الأيونية تزيد ذوبانية الأملاح . زيادة القوة الأيونية تسبب أيضاً زيادة تحلل الأملاح حسب المعادلة :

$$Ca^{+2} + HPO_4^{-2} \leftrightarrow CaHPO_4$$

ويكون ثابت التحلل هو :

$$Ko = a_{Ca}^{2+} \times a_{HPO4}^{2-} / a_{CaHPO4}$$

ويمكن أن نعتبر $[CaHPO_4] = a_{CaHPO_4}$ لأن في المخاليط المخففة يكون معامل نشـاط الجزيئات المتعادلة كهربياً حوالي 1 . بزيادة 1 تقل معاملات نشـاط الكالسـيوم$^{+2}$ و HPO_4^{-2} وحيث أن K_D ثابتة فإن $[Ca^{+2}],[HPO_4^{-2}]$ سـوف تزداد ، بينما $[CaHPO_4]$ سـوف تنقص ، وبمعنى آخر فإن التحلل يزداد .

ويحدث المثل بالنسبة للأحماض في اللبن ، معامل الاتحاد العنصري P^K (*Stoichiometric pK*) للأحماض وحيدة التكافؤ ينحرف إلى أسفل بحوالي 0.1 وحدة أس هيدروجيني في اللبن ، بالمقارنة بـ 1←0 .

3.2.2 فوسفات الكالسيوم شبه الغروية *Colloidal Calcium Phosphate*

يوضح الجدول 3.2 أن جزءاً من الأملاح في اللبن يكون موجوداً في أو على جسيمات الكازين ، أي في الجزيئات شبه الغروية ، تسمى هذه الأملاح غير الذائبة باختصار فوسفات الكالسيوم شبه الغروية ، ولذلك تحتوي على مركبات أخرى مثل سترات البوتاسيوم والصوديوم والماغنسيوم ، تكون الكمية الكلية حوالي 7 جرام/100 جرام كازين جاف ، يعتبر جزء منها كأيونات معاكسة لأن الكازين سالب الشحنة عند الأس الهيدروجيني للبن ، ولذلك يكون مرتبطاً مع أيونات معاكسة موجبة ، تشمل البوتاسيوم والصوديوم وأغلب أو كل الماغنسيوم وجزء من الكالسيوم في الجسيمات . الباقي الذي يكون معظمه كالسيوم وفوسفات مع قليل من الماغنسيوم والسترات تكون موجودة في حالة مختلفة . اللبن يكون فوق التشبع بالنسبة لفوسفات الكالسيوم ، وتبعاً لذلك يكون جزء كبير منها غير ذائب . من الخطأ تسمية هذا الجزء راسب . فوسفات الكالسيوم في جسيمات الكازين تتكون من مناطق غير متبلورة وتكون بجانب ذلك مرتبطة بالبروتين .

النسبة المولارية كالسيوم/فوسفور غير عضوي في الجسيمات تكون مرتفعة حتى إذا طرح منها جزء الكالسيوم الموجود كأيونات معاكسة ، تبقى نسبة حوالي 1.5 لفوسفات الكالسيوم ، كما في فوسفات الكالسيوم الثلاثية ،ويبدو ذلك محيراً لأننا نتوقع فوسفات ثنائية (فوسفور/كالسيوم =1) ، وهذا راجع إلى أن الـــ *pK* لحامض الفوسفوريك يكون حوالي 7 وذلك لأن الفوسفات التي حدث لها عملية أسترة مع بقايا سيرين الكازين ، أي الفوسفات العضوية يعتقد أنها تشترك في الفوسفات شبه الغروية . ونتيجة لذلك نسبة 1 تقريباً يجب أن توجد . ومع ذلك الفوسفات شبه الغروية يجب ألا ترى كواحدة من أنواع فوسفات الكالسيوم المعروفة الكثيرة ،

وبـالإضـــــافـة إلى ذلـك يكون لهـا تكوين متغير يعتمـد على طبيعـة الجو المحيط بـالأيون *ion atmosphere* فمثلاً كما ذكر سابقاً يحتوي على الماغنسيوم والسترات بالإضافة إلى بقايا من أيونات عديدة أولها الزنك ، وبمعنى آخر يمكن اعتبار الفوسفات شبه الغروية لها صفات المتبادلات الأيونية .

4.2.2 الجوانب الغذائية *Nutritional Aspects*

فوسـفات الكالسـيوم مادة غذائية هامة في اللبن والتي يحتاجها العظم لنموه وتماسـكه . وفوسفات الكالسيوم شحيح الذوبان في الماء ، وهذا يعوق تحقيق تركيزات عالية منه في نظام مائي كاللبن ، الحيوانات المجترة مثل البقر عندها ميكانيكيات للتغلب على هذه المشكلة . أولاً لبن البقرة به محتوى عالٍ نسبياً من الكازين والكازين قادر على احتواء كميات كبيرة من فوسفات الكالسيوم غير الذائبة بتكوين جسـيمات الكازين كما ذكر سـابقاً . ثانياً ، يكون تركيز السـترات في اللبن مرتفعاً ويكون مرتبط بقوة مع الكالسيوم ، وهذا يعني أن نشاط أيونات الكالسيوم في اللبن يكون منخفضاً للغاية ، انظر الجدول 4.2 . ثالثاً ، إن جزءاً من الفوسفات تحدث له عملية أسترة (انظر الجدول 3.2) وعلى ذلك يحتفظ به في جسيمات الكازين أو في المحلول .

يكون اللبن والمنتجات اللبنية مصـدراً هاماً للكالسـيوم للإنسـان ، يكون الكالسـيوم في هذه المركبات جيد الامتصـاص . بالإضـافة إلى ذلك تكون النسـبة المولارية الفوسـفور/ الكالسيوم مساوية لـــ 0.9 من اللبن ، وهذه النسبة عالية بالمقارنة مع أغلب الأطعمة الأخرى . وتعتبر مفيدة للأشـخاص المعرضـين لهشـاشـة العظام . معظم الكالسـيوم الذي يتم تناوله لا يتم امتصاصه ويبقى في المعدة في صورة فوسفات كالسيوم مميّه . وهذا يمكن عدة مركبات ذاتية من أن تمتص . وذلك يقدم بعض التأثيرات المفيدة . التهابات معدية تسـببها بعض الكائنات الممرضـة يمكن تحسـنها معنوياً . بالإضـافة إلى ذلك فإنها تقلل من احتمالات الإصـابة بسـرطان القولون في الفئران ومن المحتمل أيضاً في الإنسان .

اللبن مصـدر جيد لكثير من المعادن وتشـمل المعادن النادرة (انظر الفهرس والجدول $8.A$) وخاصــة الزنك ، محتوى الحديد في اللبن قليل والذي يســاعد في انخفاض نمو البكتيريا الممرضــة في معدة العجول الصـغيرة (يملك العجل عند الولادة مخزوناً عالياً من الحديد كما هو الحال في رضـيع الإنسان) .

تكون بعض المعادن النادرة ســامة (مثل الكادميوم والزئبق والرصــاص) ولكن لم يكشــف عنها بتركيزات خطرة أبداً في اللبن .

5.2.2 تغيرات في الأملاح ***Changes in Salt***

تكون أملاح اللبن في اتزان ديناميكي فيما بينها في المحلول ، بين المحلول والفوسفات شبه الغروية ، بين المحلول والبروتين ، فتغير الظروف الخارجية للبن يمكن أن يســـبب تغيراً في الاتزان ، ولكي نكون متأكدين ليس هناك اتزان حقيقي خاصــة لفوسـفات الكالسـيوم ، ولكن يوجد اتزان كاذب محلي ، يكون التأكيد هنا على الكلمة ديناميكي *Dynamic* .

يكون اللبن مشـــبعاً بالنســـبة لفوســـفات الكالســـيوم الهيدروجينية $CaHPO4$ (يكون ذوبانها في اللبن حوالي 1.8 مليمول/لتر ، بينما ذوبان $Ca_3(PO4)_2$ فوســفات الكالســيوم حوالي 0.06) . بالإضـافة إلى ذلك تكون جزء صـغير من إسترات اللبن غير ذائبة ، كما نستطيع أن نرى في الجدول 3.2 أن اللبن لا يكون مشــبعاً بالنســـبة للأملاح الأخرى (فمثلاً ذوبانية فوســـفات المـاغنســـيوم الهيـدروجينيـة $MgHPO4$ في المـاء 12 مليلمول/لتر تقريبـاً) . للبن مقـدرة تنظيميـة *Buffering Copacity* لبعض الأيونات خاصـة الكالسـيوم Ca^{+2} . لوجود فوسـفات شـبه غروية غير ذائبة والتي تتغير ليس فقط في الكمية ولكن في مكوناتها أيضاً ، كنتيجة لتبادل أيوني . إحداث التغير في المكون الأيوني بواســطة درجة الحرارة ، الأس الهيدروجيني ، ... الخ ، له تأثير مختلف على محلول ملح اللبن ، حيــث حــدث تبــادل مع ملح الجســـيمــات والشـــرش أو الترشـــيح الفائق .

يعطي الجدول 6.2 أمثلة لما سوف يحدث عندما تضاف بعض المواد إلى اللبن ، يمكن أن تحدث بعض التغيرات أثناء تخزين اللبن . يفقد اللبن ثاني أكسيد الكربون ، المحتوى الأصلي في الضرع يكون ضعف ما ذكر في الجدول 6.2 . يسبب فعل الإنزيم على إسترات حامض الفوسفوريك الذائبة انخفاضاً في الأس الهيدروجيني وفي الكالسيوم $[Ca^{+2}]$ ، وزيادة في كمية الفوسفات شبه الغروية ، يعطي التحلل الدهني أحماضاً دهنية حرة تقلل الأس الهيدروجيني وتتحد مع بعض أيونات الكالسيوم Ca^{2+} وتكون أملاح الكالسيوم للأحماض الدهنية شحيحة الذوبان (ذوبانية منتج الحمض الدهني مع Ca^{2+} تقريباً من 10^{-10} إلى 10^{-12} مول^{3}.كيلوجرام$^{-1}$ و pK للأحماض الدهنية ≈ 4.7) .

1.5.2.2 الحموضة *Acidity*

يمكن أن يتغير الأس الهيدروجيني كنتيجة للإضافات ، تركيز أو تسخين اللبن وهلم جرّا . التخمر الميكروبي للاكتوز إلى حامض اللكتيك (فصل 13.2) في غاية الأهمية ، الانخفاض المتتالي في الأس الهيدروجيني يسبب تفككاً جزئياً للفوسفات شبه الغروية (شكل 7.2) ونقصاً في الشحنة السالبة للبروتينات والتي تتقدم بنقص في الارتباط مع الأيونات المعاكسة . بالإضافة إلى ذلك فإن انخفاض الأس الهيدروجيني يقلل انحلال الأحماض الضعيفة ، وتزيد أيونات الكالسيوم $[Ca^{2+}]$ (انظر أيضاً جدول 6.2) إضافة حامض الهيدروكلوريك وشكل 9.2) . ويزيد أيضاً القوة الأيونية ربما أكثر من تلك المناظرة لكمية حامض اللاكتيك المتكون . ويسبب إنتاج الحامض انخفاض نقطة التجمد بحوالي 2 ملي كلفن mK لكل مليمول حامض لكتيك منتج، وزيادة في التوصيل الكهربي تقدر بـــ 4 ملي أمبير. فولت$^{-1}$. m^{-1} لكل مليمول حامض لكتيك . تحطم بعض بكتيريا حامض اللاكتيك السترات ، وهذا سوف يسرع زيادة أيونات الكالسيوم Ca^{2+} في الجانب الآخر ترتبط اللكتات إلى حد ما مع أيونات الكالسيوم ، سوف تكون الزيادة في أيونات الكالسيوم في التخمر اللاكتيكي أقل مما سوف يتبع من الانخفاض في الأس الهيدروجيني .

جدول 6.2 تأثير الإضــافات المختلفة إلى اللبن على زيادة (+) أو نقص (−) الكالسـيوم والفوسـفات غير العضـوية في حالات مختلفة

Table 2.6 Effect of Various Additions to Milk on Increase (+) or Decrease (-) of Ca and Inorganic Phosphate in Various States

الفوسفات في الجسيمات Phosphate in the micelles	الكالسيوم الذائب Dissolved Ca	Ca^{2+}	Substance added المادة المضافة
Effect on the concentration of التأثير على تركيز			
-0.2	+0.3	+0.2	HCl حامض الهيدروكلوريك
+0.2	-	-0.1	$NaOH$ هيدروكيد الصوديوم
-	+0.005	+	$NaCl$ كلوريد الصوديوم
+0.4	+0.3	+0.3	$CaCl_2^a$ كلوريد الكالسيوم
-0.2	+0.4	-0.1	*Citric acid* [b] حامض السيتريك
+0.1	−0.1	−0.05	*Phosphoric acid* [b] حامض الفوسفوريك
-	+	-	*EDTA* [ab]

ملاحظة : كما هو معروف قوة التغير التقريبي تقدر بالمولات كالسـيوم أو فوسـفات لكل مول من المادة المضـافة ، للإضـافة الصغيرة .

a. إضافة كثير من هيدروكسيد الصوديوم عند الحاجة للحفاظ على الأس الهيدروجيني ثابتاً .

b. *EDTA* إثيلين ثنائي الأمين رباعي حامض الأسيتيك عامل مخلبي .

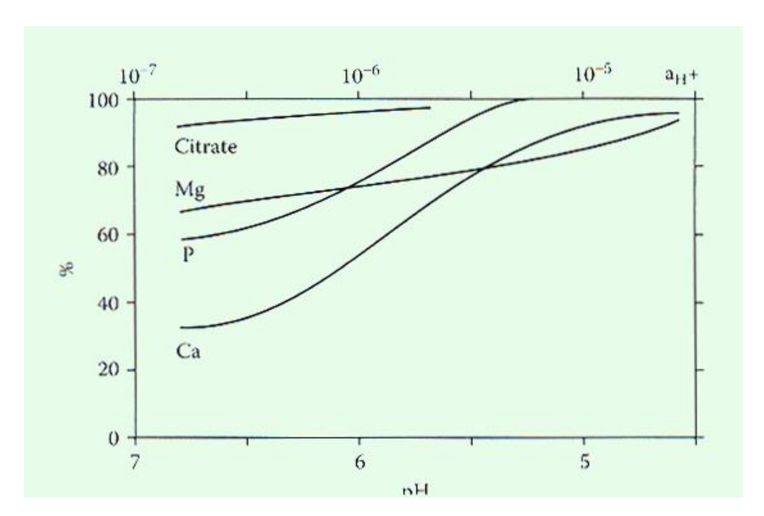
Note: As far as is known, the approximate magnitude of the change is given in moles Ca or phosphate per mole substance added, for a small addition.
a. Plus as much NaOH as is needed to keep the pH constant.
b. EDTA, ethylenediaminetetraacetic acid, a chelating agent.

2.5.2.2 المعاملة الحرارية *Temperature Treatment*

يجب أن نميز ثلاثة أنواع من التجارب .

1. قيـاس الحـالـة الفعليـة في اللبن عنـد درجـات حرارة مختلفـة ، فمثلاً تعتمـد ثوابـت التحلـل على درجة الحرارة . قياســـات مباشـــرة قليلة جداً بالنســـبة للتغيرات في اللبن تم إجراؤها ، ولكن يمكن أن نحـاول الاســـتدلال على مكونـات المحلول الملحي في درجـات حرارة مختلفـة من التجربة التالية . فصـــل مصـــل اللبن عند درجات حرارة مختلفة وتتقصـــى عنها في درجة

حرارة الغرفة ثم يتبع ذلك أن الأس الهيدروجيني للمصـــل المتكون عند درجة حرارة صـــفر مئوية هو ~0.1 وحدة أعلى ، والمتكون عند درجة 93 مئوية هو 0.5 وحدة أقل ، عند مقارنتها بالمصل المتكون عند 20 درجة مئوية (شكل 2.4) . تسخين اللبن عند درجات حرارة مختلفة لأوقات مختلفة . برد درجة حرارة الغرفة تم استنتج . هذه هي أكثر التجارب شيوعاً .



شكل 7.2 النسب التقريبية للكالسيوم والفوسفات غير العضوية والماغنسيوم والسترات التي ذابت كدالة للأس الهيدروجيني للبن

Figure 2.7 Approximate percentages of calcium, inorganic phosphate, magnesium, and citrate that are dissolved as a function of the pH of milk

أثناء التسـخين ، التغير الأكثر أهمية هو أن الكالسـيوم الذائب والفوسـفات تصـبح غير ذائبة جزئياً وترتبط ارتباطاً كبيراً بجسيمات الكازين ، الفوسفات شبه الغروية المتكونة لها نسبة مولاية $\frac{Ca}{p}=1$.

التفاعل هو :

$$H_2PO_4^- + Ca^{2+} \rightarrow CaHPO4^- + H^+$$

وهذا يتضـمن أن اللبن قد أصبح أكثر حموضـة (الانخفاض في الأس الهيدروجيني يوازن عدم ذوبانية الكـالســيوم والفوســفـات) . تكون التفـاعلات بطيئـة وتحـدث خـاصـــة في مـدى حراري

ضـيق . تحت درجة 60 مئوية تكون التغيرات قليلة ، بينما فوق 80 درجة مئوية أي زيادة في درجة الحرارة لها تأثير قليل .

تعكس التفاعلات في درجة حرارة الغرفة وهكذا تكون بطيئة جداً (شكل $A.8.2$) عند درجة حرارة منخفضة يحدث العكس ، بعد 24 ساعة عند درجة حرارة 3 مئوية يزداد الكالسيوم الذائب بحوالي 7% والفوسفات الذائبة بحوالي 4% وتركيزات الكالسيوم Ca^{2+} تزداد أيضاً ، قوة كل هذه التغيرات يمكن أن تختلف (شكل $B.8.2$) .

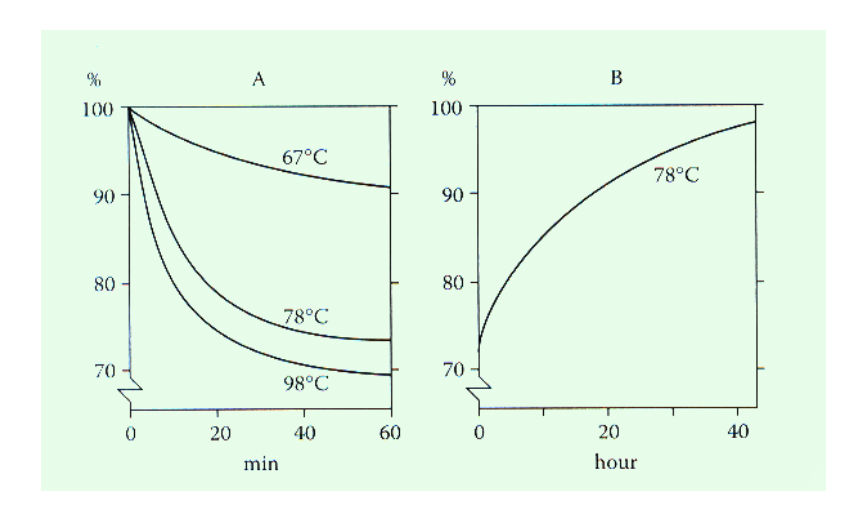
3.5.2.2 التركيز *Concentration*

يســـبب تركيز اللبن بتبخير الماء عدة تغيرات ، ولكن يجب أن يؤخذ في الاعتبار أن التســـخين يكون عادة مؤثراً أيضــــاً ، وينخفض الأس الهيدروجيني بمقدار 0.3 وحدة لكل تركيز 2 : 1 وهذا يعني أن التركيز يتم حتى ضعف محتوى المادة الجافة الأساسية وبحوالي 0.5 وحدة للتركيز 3 : 1 . السبب الرئيسي للتغيرات هو تكوين فوسفات الكالسيوم المضافة في جسيمات الكازين . وتبعاً لذلك فإن تركيز الكالســيوم Ca^{2+} لا يزيد زيادة محســوســة . وتقل أجزاء الســترات الذائبة والفوسفات والكالسيوم ولكن بنسبة أقل من التركيز ، فمثلاً يقل الكالسيوم الذائب من 40% إلى 30% للتركيز 1:2.5 ويعزى ذلـك جزئيـاً إلى انخفـاض الأس الهيـدروجيني وجزئيـاً إلى زيـادة القوة الأيونية ولكن فهْمنا لهذه التغيرات ضعيف وغير كامل .

4.5.2.2 نشاط أيونات الكالسيوم *Calcium Ion Activity*

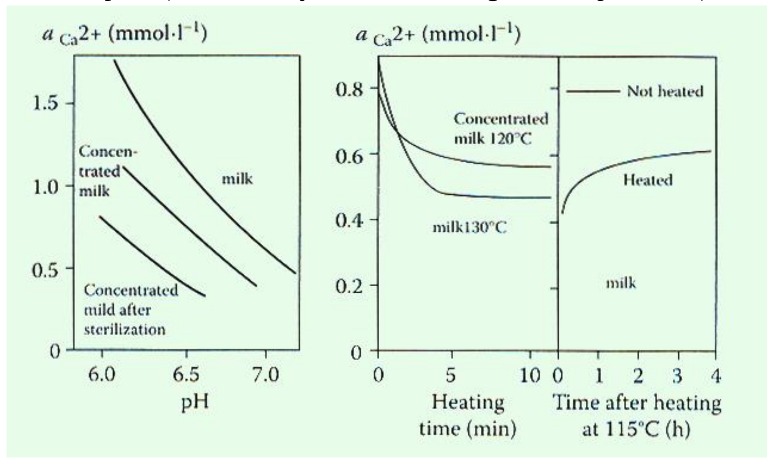
إن نشـــاط أيونات الكالســـيوم Ca^{2+} في اللبن متغير هام وخاصـــة لثبات جســـيمات الكازين. وتختلف بصورة واضحة عن محتوى الكالسيوم الذائب . لأن هذا التقدير المباشر لـ $a_{Ca^{2+}}$ يكون ضــــرورياً ، ويمكن تحقيق ذلـك بـاســـتخـدام اليكترود لقيـاس أيونـات الكـالســـيوم *a calcium ion- selective electrode* بنفس طريقة قياس الأس الهيدروجيني *pH* . شكل 9.2

يلخص تأثير بعض المتغيرات . إضــافة الســكر مثل الســكروز للبن (كما يحدث عند تصـنيع اللبن المكثف المحلى والأيس كريم يزيد بعض المنتجات اللبنية) $a_{Ca^{2+}}$ (معبراً عنها بالملي مول/كيلوجرام ماء) . فمثلاً معامل نشــاط Ca^{2+} يزداد من 0.40 إلى 0.46 بإضــافة 150 جرام ســكروز إلى لتر لبن ، تختلف الألبان المختلفة بصــورة واســعة في نشــاط أيونات الكالســيوم من 0.6 إلى 1.6 ملي مول. لتر$^{-1}$. وعادة ما يرتبط الاختلاف معنوياً بالأس الهيدروجيني pH أي أنه كلما ارتفع a_{H^+} ارتفع نشاط أيونات الكالسيوم $a_{Ca^{2+}}$.



شكل 8.2 كمية الكالسيوم في اللبن التي تكون ذائبة في نسبة الكمية الأصلية (A) تأثير زمن التسخين لدرجات حرارة مختلفة (محددة بعد ســـاعة واحدة في درجة حرارة 20 مئوية (B) تأثير الإبقاء (الحجز) عند درجة 20 مئوية بعد التسخين لمدة 30 دقيقة أمثلة تقريبية

Figure 2.8 The amount of Ca in milk that is dissolved in percentage of the original amount. (A) effect of the time of heating at various temperatures (determined after 1 h at 20°C); (B) effect of holding at 20°C after heating for 30 min. approximate examples. (From data by Jenness and Hilgeman, unpublished)



شـكل 9.2 تأثير الأس الهيدروجيني ، المعاملة الحرارية ، والتركيز (بعامل 2.6) والوقت بعد التسـخين على نشـاط أيونات اللبن ، جميع القراءات (المقاييس) عند حرارة 20 مئوية

Figure 2.9 Effects of pH, heat treatment, concentration (by a factor of 2.6), and time after heating on calcium ion activity. All measurements at 20°C

3.2 الدهون *Lipids*

الدهون هي أسـترات أحماض دهنية ومكونات ذات الصـلة والتي تكون ذائبة في مذيبات عضـوية غير قطبية وغير ذائبة تقريباً في الماء . ومن جانب آخر المصـطلح "دهن" هو المسـتخدم ولكن "الدهن" يتكون عادة من مخلوط من جليسريدات ثلاثية خاصـة عندما يكون المخلوط صـلباً جزئياً في درجة حرارة الغرفة .

يتكون كل الدهن تقريباً من كريات دهن . ولذلك يمكن تركيزه بواسـطة عملية تقشـيد باسـتخدام الجاذبية ، وعادة ما يتبع بعملية مخض للبن . المكونات الغنية بالدهن مثل القشـدة والزبدة لها قوام ونكهة خاصـة ومحببة . ومن جهة أخرى دهن اللبن عرضـة للتلف السـريع ويؤدي إلى روائح كريهة غير مرغوبة . قوام المنتجات عالية الدهن يعتمد كلياً على بلورة الدهن وفي المقابل يعتمد سـلوك بلورة دهن اللبن على هذه العوامل لمكونات الدهن الواسعة الاختلاف .

وتتم في هذا الفصـل مناقشـة خواص مكونات الدهون ، فصـل 2.3.2 يختص بجوانب خاصة لكريات دهن اللبن .

1.3.2 المكونات *Composition*

يبين الجدول 7.2 أنواع الدهن الرئيسية في اللبن مع تركيبها الكيميائي وبعض خواصها، لاحظ أن حوالي 98% من دهن اللبن يتكون من خليط من ثلاثي أسيل جليسريدات *Triacylglycerides* . الدهون الأخرى المختلفة بعضها يكون موجوداً بكميات ضئيلة ،تكون أيضاً ذائبة في الدهن ، توجد أغلب الدهون القطبية في كريات دهن الغشاء .

تعتمد الخواص الكيميائية والفيزيائية للدهن في المقام الأول على نوع الجزيء ، فمثلاً تختلف الجليسريدات الثلاثية عن الليسيثينات *Lecithins* أو الأستيرويدات *Sterols* ولكن كل نوع دهني يتكون من أنواع مختلفة عديدة من الجزيئات ، حيث أنها تحتوي على بقايا حامض دهن مختلف . هذا النموذج للحامض الدهني هو عامل هام في تحديد خواص الدهن ، مثل مدى الانصهار ، التفاعلية الكيميائية والقيمة الغذائية .

1.1.3.2 الأحماض الدهنية الموجودة *Fatty Acids Occurring*

المتغيرات التالية هي المتغيرات الأساسية بين الأحماض الدهنية في دهن اللبن :

1. طول السلسلة ، أغلب الأحماض الدهنية تحتوي على 4 إلى 18 ذرة كربون ، الأحماض أحادية العدد الكربوني هي السائدة .
2. عدد الروابط المزدوجة وبكلمات أخرى درجة عدم التشبع ، وهي التي تحدد التفاعلية الكيميائية ، تشمل القابلية للأكسدة الذاتية .
3. مكان الروابط المزدوجة مقترنة أو مشبعة *Conjugaled* $(-CH=CH-CH=CH-)$ أو غير مشتقة .
4. شكل الروابط المزدوجة في الفراغ (الوضع النسبي للذرات في الجزيئ) *Configuration* . يمكن أن تكون كل رابطة مزدوجة إما في الوضع *cis* أو الوضع *trans* . الشكل *cis* هو النوع السائد في الطبيعة . يحتوي دهن اللبن حوالي 3 مول % أحماض *trans* أحادية غير مشبعة .

```
H   H                    H
|   |                 \  |
C = C                  C = C
/     \                |     \
(Cis)               (Trans) H
```

5. التفرع *Branching* ، تقريباً كل الأحماض الدهنية لها ســـلســـلة كربونية غير متفرعة ، ولكن بعضها له مجموعة منتهية . $-CH(CH_3)-CH_3$.
6. بعض الأحماض الدهنية مجموعة كيتونية *keto* أو مجموعة هيدروكسيل *Hydroxy* .
7. بعد التحلل المائي تعطي الجليسرات بعض الكحولات الدهنية والدهيدات دهنية بالإضـافة إلى الأحماض الدهنية .

2.1.3.2 النظام التركيبي للحامض الدهني *Fatty Acid Pattern*

يمكن تبعاً للبيانات الموجودة بجدول 7.2 وبعض النتائج التفصـــيلية الأخرى تمييز نظام الحامض الدهني المتغير الموجود في اللبن على النحو التالي :

1. مكونات أحماضـها الدهنية تكون واسعة جداً تشتمل على أحماض دهنية كيتونية أو مجموعات هيدروكســيلية بأعداد ذرات كربون غير أحادية *uneven* بســلاســل كربونية متفرعة ، العدد الكلي هو 250 بقايا أحماض مختلفة ، منها 11 حامضاً تقدر بأكثر من 1 مول % من خليط بقايا الأحماض الدهنية ، تحتوي على نسبة عالية (15-20 مول%) من بقايا الأحماض الدهنية قصيرة السلسلة بـ 4-10 ذرة كربون ، وهذا مطابق لدهن لبن الأنواع المجترة .

جدول 7.2 الأحماض الدهنية في دهن اللبن

Table 2.7 Fatty Acids in Milk Fat

النسبة في موقع Percentage in 3 position	المكونات Composition (in mol%) of			الذوبانية Solubility[b] (g/L)	درجة الانصهار Melting Point (°C)	التدوين Notation[a]		الحامض Acid
	الأحماض الدهنية Free fatt acids[d]	فسفوليبيدات Phospholipids	Neutral glycerides[c]			Y	x	
	72	45	69 (57-80)					Saturated
97	14.5	0.0	8.5 (7-14)	Miscible	-8	0	4	Butyric
84	4.5	0.0	4.0 (2-7)	174	-4	0	6	Caproic
45	2	0.2	1.8 (1-3.5)	58	16	0	8	Caprylic
33	2	0.2	3.0 (1.5-5)	17	31	0	10	Capric
26	2	0.5	3.6 (2.5-7)	5.6	44	0	12	Lauric
17	9	3	10.5 (8-15)	1.6	54	0	14	Myristic
12	21	19	23.5 (20-32)	0.49	63	0	16	Palmitic
22	13	12	10.0 (6-13)	0.14	70	0	18	Stearic
7	2.5	4.5	2.5 (1.5-3.5)					Odd-numbered
	1	0.7	1.1 (0.7-1.8)					Branched
		5	0.7 (0.302)					Other
	23	41	27 (18-36)					Monoene
23	1?	?	1.4			1Δ9[e]	16	Palmitoleic
32	20	38	21 (13-28)	0.42	16	1Δ9[e]	18	Oleic
	3.5	3	5.5					Other
		8	2.5 (1-4.3)					Diene
20	2.3	8	1.8		-5	2Δ9,12[e]	18	Linoleic
		0.2	0.7					Other

Polyene				0.8 (0.4-2)	4		29
α-Linolenic	18	3Δ9,12,1 e[6]	-12	0.4	2		
Other				0.4	2		
Keto				0.3	?		
Hydroxy				0.3	?		
Fatty alcohol				0.01	0.15		
Fatty aldehyde				0.02	0.01		
Unclassified					2	1	

ملاحظة : خواص المتوسط التقريبي لمكونات حامض دهني لبعض أنواع الدهن ، ومتوسط نسبة كل بقايا حامض دهني تم أسترته في الموقع 3 لجليسريدات ثلاثية .

a. X= عدد ذرات الكربون ، Y= عدد الروابط المزدوجة ، Δ تشير إلى الموقع في السلسلة الكربونية : Δ9, 12 مثلاً يعني أن رابطتان مزدوجتين موجودتين عند الروابط 12,9 مقاسة من مجموعة الكربوكسيل .

b. تركيز الجسيمات الحرج في وجود أيونات Na^+ .

c. بين القوسين يوجد المدى التقريبي .

d. الأحماض الدهنية الحرة التي تكونت نتيجة عمل إنزيمات ليباز اللبن .

e. جميعها *cis* .

Note: Properties, approximate average fatty acid composiation of some likpid classes, and average percentage of each fatty acid residue esterified in the 3-position of the triglycerides.

a. x = number of C atoms; y = number of double bonds; Δ refers to the position in the carbon chain: Δ9, 12, for instance, indicates that the two double
b. Critical micellization concentration in the presence of Na^+ ions.
c. In parentheses is the approximate rang.
d. Free fatty acids liberated by the action of milk lipase.
e. All cis.

2. تكون نسبة بقايا الأحماض الدهنية المشبعة مرتفعة أي 70 مول % (= 63%W / W) .
3. يكون حامض الأوليك أكثر الأحماض الدهنية غير المشبعة وفرة (حوالي 70%) .
4. تكون بقايا الأحماض الدهنية غير المشبعة الأخرى موجودة بأطوال سلسلة مختلفة وكذلك الحال بالنسبة لعدد ذرات الكربون ومكانها وشكل الروابط المزدوجة في الفراغ .

وحيث أن الأنواع المختلفة للدهون تكون موزعة بين الأجزاء الفيزيائية للبن (جدول 9.2) فإن مكونات الدهن للمنتجات اللبنية المختلفة تختلف . تنبع الاختلافات الأكبر من التغيرات في كمية المواد من أغشـية كريات الدهن . تم ذكر أمثلة في الجدول 11.2 . ويحضـر دهن اللبن اللامائي من الزبدة بتسييحها وفصـل وتجفيف طبقة الزيت التي يتم الحصـول عليها . تكوينها مساوٍ عملياً للدهن الموجود في لب أو مركز كريات دهن اللبن .

3.1.3.2 التخليق *Synthesis*

في الحيوانات المجترة يكون فرق جهد الأكسدة – الاختزال ***Redox Potential*** منخفضاً وتحدث الهدرجة الشـديدة للرابطة المزدوجة . وهنا يعني أن أغلب الأحماض الدهنية التي تمتص من الأمعاء هي أحماض مشبعة (ويكون محتوى الأحماض العديدة غير المشبعة منخفضاً) . سوف تؤدي عملية أسترة الأحماض الدهنية الناتجة مع الجليسترول التي تحدث في الغدة الثديية إلى أحماض دهنية ذات نقطة انصـهار عالية وتكون صـلبة جزئياً عند درجة حرارة فسـيولوجية . وهذا لا يسـتطيع الحيوان تحمله . ولذلك تنشـأ ميكانيكيات قليلة تحافظ بها الحيوانات المجترة على دهن لبنها سـائلاً وهي كالتالي :

1. في الغدة الثديية ، تخلق الأحماض الدهنية قصـيرة السـلسـلة بكميات كبيرة ، تعطي هذه الأحماض جليسـريدات ثلاثية ذات معدل انصـهار منخفض ، تنتج فلورا الحيوانات المجترة *B*- هيدروكسـي بيترات ***B- hydroxybutyrate*** والذي يعطي حامض بيتيرك (C_4) . تنتج الحيوانـات المتجترة أيضـاً أسـيتـات كثيرة والتي يمكن أن تضـاف إلى C_4 لتعطي

أحماض $C_{14}-C_6$. الأحماض C_{16} و C_{18} تنتج في اللبن من الجلسريدات الثلاثية الموجودة في الدم .

2. تحتوي الغدة الثديية على إنزيم لعدم التشـــبع *Desaturase* وهو إنزيم يمكن أن يحول حامض الســيتريك ($C_{18:0}$) إلى حامض الأوليك ($C_{18:1}$) ولحد ما $C_{16:0}$ إلى $C_{16:1}$ أحماض دهنية غير مشبعة تعطي أيضاً دهناً له معدل انصهار منخفض .

3. يكون توزيع بقايا الأحماض الدهنية فوق الجليســـريدات الثلاثية غير متســـاوٍ ، تكون البقايا قصـيرة السـلسـلة سـائدة في الوضـع -3 عنه في الوضـع -2 كما هو موضـح في جدول 7.2 . ويعطي هذا أيضـاً دهناً له معدل انصـهار منخفض . تشـرح هذه الميكانيكيات نوعياً كثير من النظم التركيبية للأحماض الدهنية التي سبق شرحها في النص السابق .

ويمكن لتشـكيلة المسـار التخليقي أن تشـرح أيضـاً الاعتماد القوي للنظام التركيبي للحامض الدهني على مكونات الغذاء ، تعطي نسـبة العليقة المحتوية على أحماض C_{18} دهن لبن غير مشـبع بسبب التكوين المرتفع لبقايا الأحماض الدهنية ، تعطي النسب ذات التركيزات العالية أسيتات قليلة في المعدة الأولى *rumen* ، وأحماضـاً ذات سـلاسـل قصيرة ، بينما تسبب النسبة العالية من النخالة الخشنة عكس ذلك ، الشكل الفيزيائي للعليقة أيضاً له تأثير .

يتكون جزء معنوي من الأحماض الدهنية غير المشـــبعة في المركزات من قطع صـــلبة وكبيرة تهرب من عملية الهدرجة ، والتي تنتج في دهن اللبن مع نســـبة عالية نســـبياً من مواد غير مشـــبعة عديدة .

4.1.3.2 التفاعلية *Reactivity*

تبدي بعض الأحماض الدهنية بالتســـخين تفاعلات كيميائية ، أعطت بقايا 3- أحماض كيتونية ميثيل كيتونات حرة ($R-CO-CH_3$) . 4- ,5- أعطت بقايا أحماض دهنية هيدروكسـيلية δ,γ لاكتونات على الترتيب وخاصة الأخير .

تكون هذه المركبات موجودة أيضـــاً في اللبن الطازج وتكون مســـئولة جزئياً عن النكهة المميزة لدهن اللبن . تســـبب الكميات الكبيرة التي يمكن أن تنتج من المعاملات الحرارية أو أثناء التخزين لفترة طولية للبن المجفف نكهة غير طبيعية ، وباســتمرار التســخين لدرجة أعلى (مثل 150 درجة مئوية) يتغير مكان جزء من الروابط المزدوجة وينتقل بعضها من الوضع ***cis*** إلى الوضع ***trans*** .

تتعرض الرابطة المزدوجة للأكســـدة مكونة بيروكســـيدات ***Peroxides*** والتي تتحلل بعد ذلك . (انظر التحت جزء 4.3.2) . تعطي الأكســـدة رائحة غير مرغوبة . تلاحظ رائحة غير مرغوبة أخرى عند تحلل الدهن ، أي التحليل المائي لروابط الأســتر التي تحفز بواســطة إنزيم الليبيز لكي تعطي الأحماض الدهنية الحرة والجليسريدات الأحادية والثنائية (انظر التحت جزء 5.2.3).

يتم الوصول إلى بعض التحورات عند تغير سلوك البلورة . يتم بطريقة فيزيائية تجزئة الدهن إلى أجزاء ذات انصــــهار عالٍ ومنخفض بعد تركها لتتبلور جزئياً (تحت جزء 2.5.18) . يمكن أن يحور الـدهن كيميـائيـاً بواســـطـة عمليـة تكوّن الأســـتر الـداخليـة ***Interesterification*** أو عشـوائياً (أي تبادل بقايا الأحماض الدهنية لأماكنها في جزيئات الجليسـريدات الثلاثية) ويحدث أيضـاً تحت تأثير عامل مسـاعد ***A catalyst*** ؛ أثناء التسـخين الشـديد . وهناك طريقة ثانية وهي تشـــبع الروابط المزدوجة بواســـطة الهدرجة عند درجات حرارة عالية في وجود الهيدروجين وعامل مساعد معدني . لا يمكن تسمية الدهون المحورة كيميائياً دهن لبن .

2.3.2 أقسام الدهون ***Lipid Classes***

يضـــم جدول 8.2 أقســـام الدهون الموجودة في اللبن ، تركيزاتها وتركيبها ، ســـوف تناقش بعض خواص أقسام الدهون المنفردة فيما بعد .

1.2.3.2 الجليسريدات الثلاثية ***Triacylglycerols***

التركيب الجزيئي موضـح في شـكل 10.2 تسـمى ثلاثي أسـيل جليسـرول بالجليسـريدات الثلاثيـة وهي تكوّن معظم الـدهون (أكثر من 98%) ولـذلـك فهي تحـدد خواص دهن اللبن ، وتختلف هذه الخواص مع مكونات الحامض الدهني ، وحيث أن عدد بقايا الحمض الدهني المختلفة كبير ، فإن عدد الجليسريدات الثلاثية مازال كبيراً .

$$
\begin{array}{c}
H_2C - O - \underset{\displaystyle O}{\overset{}{C}} - R' \\
R^2 - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O \blacktriangleright C \blacktriangleleft H \\
H_2C - O - \underset{\displaystyle O}{\overset{}{C}} - R^3
\end{array}
$$

شكل 10.2 جزئ ثلاثي أسيل جليسرول *R* تعني سلسلة أليفاتية ، الوضع الفراغي للروابط الأربع لذرة الكربون المركزية تم رسمه R^3, R^2, R^1 تمثل الرقم المجسم الخاص (*Sn*) لأماكن الأسيل الثلاثة

Figure 2.10 Triacylglycerol molecule. R denotes an aliphatic chain. For the configuration of the four bonds of the central C-atom as drawn, R^1, R^2, and R^3 denote the stereo-specific numbering (*sn*) of the three acyl positions

ســوف تعطي بقايا الأحماض الدهنية الإحدى عشــر الرئيســية فقط 11^3 أو 1331 جليســريدات ثلاثية مختلفة ، بافتراض أن أي بقايا حمض دهني آخر من الأقلية ســوف لا يظهر أكثر من مرة في جزيء الجليســـريدات الثلاثية ، لقد وصـــلنا إلى 10^5 جزيئات مختلفة على الأقل . بالإضـــافة إلى ذلك، ليس هناك نوع واحد من الجليســريدات الثلاثية الموجودة يتركز فوق 2 مول% ويتضــح من ذلك أن دهن اللبن يبدي مدى تكوينياً واسعاً .

يكون توزيع بقايا الحمض الدهني فوق الأوضــاع المذكورة في جزيء الجليســريدات الثلاثية أبعد من كونه عشـوائياً ، فمثلاً تكون حمض البيتيرك والكابرويك في الوضـع – 3 وحمض الســتيريك في الوضع -1 (انظر أيضاً جدول 7.2) .

Table 2.8 Lipids of Fresh Milk — **جدول 8.2** دهون اللبن الطازج

Milk plasma بلازما اللبن	Globule membrane غشاء الكرية	Core of glodule لب الكرية	Percentage in milk fat (W/W) النسبة في دهن اللبن	$\bar{y}$	$\bar{x}$	Number	MW الوزن الجزيئي	Other constituent مركبات أخرى	Alcohol residue بقايا الكحوليات	Lipid class نوع الدهن
Percentage of the lipid in نسبة الدهن في				Fatty acid residues بقايا الأحماض الدهنية						
			98.7							جليسريدات طبيعية Neutral glycerides
	+	~100	98.3	0.35	14.4	3	728		Glycerol	جليسريدات ثلاثية Triglycerides
?	10?	90?	0.3	0.38	14.9	2	536		Glycerol	جليسريدات ثنائية Diglycerides
+	+	+	0.03	0.36	15.0	1	314		Glycerol	جلسريدات أحادية Monoglycerides
30	10?	60	0.1	0.36	15.8		253		-	أحماض دهنية حرة Free faity acids
35	65	0	0.8					Phospho group		فوسفوليبيدات Phospholipids[a]
		0.26	0.26	0.6	17.2	2	764	Choline	Glycerol	Ph. Chdine (lecithin)
			0.26	1.0	17.9	2	742	Ethanolamine	Glycerol	Ph.ethanolamine[b]
			0.03	0.8	17.8	2	784	Serine	Glycerol	Ph. Serine[b]
			0.04			2	855	Inositol	Glycerol	Ph. Inositide[c]
			0.20	0.2	19	1	770	Choline	Sphingosine	Sphingomyelin[d]
30	70	0	0.1	0.2	20	1	770	Hexose	Sphingosine	Cerebrosides[c,d]
30?	70?	_	0.01			1	~1600	Hexose[8]	Sphingosine	Gangliosides[45]

Sterols سيترولات						0.32	80	10	10
Cholesterol	-	387				0.30			
Chsolesteryl esters	*Cholesterol*	642	1	16	0.4	0.02?			
Carotenoids+vitamin A	-					0.002	95?	5?	+

ملاحظة : متوسط القيمة التقريبي ليس كاملاً ، X = متوسط عدد ذرات الكربون ، Y = متوسط عدد الروابط المزدوجة .

a. 1% تكون موجودة كفوسفاتيدات متحللة تقريباً .

b. فوسفاتيدين إيثانول أمين + *ph* سيرين = سيفالين .

c. جليكوليبيد .

d. سفينجوليبيد .

e. حامض نيورأمينيك أيضاً .

Note: See also Figure 2.10; approximate average values, not complete; $\bar{x}$ = average number of carbon atoms; and $\bar{y}$ = average number of double bond.

a. Approximately 1% is present as lysophosphatides.
b. phosphatidylethanolamine + Ph. Serine = cephalin.
c. glycolipids.
d. sphingolipids.
e. also neuraminic acid.

يحدد موقع بقايا حمض دهني في جزيئات الجليسريدات الثلاثية أي أحماض دهنية سائدة بواسطة إنزيمات تحلل الدهون (أي الأحماض في الأوضاع 3,1) والتي تحدد سلوك بلورة دهن اللبن ، تعتمد أغلب الخصائص الأخرى على تكوين الحمض الدهني فقط .

تكون الجليسريدات الثلاثية غير قطبية وليست نشطة السطح . تعمل في الحالة السائلة كمذيب لكثير من المواد غير القطبية الأخرى بما فيها الستيرولات ***Sterols*** . الكاروتينويدات ***Carotenoids*** ، وتوكوفيرول *Tocopherol* تذوب كمية صغيرة من الماء (حوالي 0.15% عند درجة حرارة الغرفة) في دهن اللبن السائل . تم تدوين بعض الخواص الفيزيائية في جدول 10.2.

2.2.3.2 الجليسريدات الثنائية والأحادية ***Di-and Monoglycerides***

يوجد بعض منها في دهن اللبن الطازج ، يزيد تحلل الدهن من كمياتها ، تكون الجليسريدات الثنائية غير قطبية ولا تختلف كثيراً عن الجليسريدات الثلاثية في خصائصها . توجد الجليسريدات الأحادية بكميات قليلة وهي مركبات قطبية ونشطة السطح ولذلك تتراكم بين أسطح الماء – الزيت .

تهاجم أغلب الإنزيمات المحللة للدهن شاملة الموجودة في اللبن خاصة الوضع -*I* والوضع 3 لجزيء الجليسريدات الثلاثية (شكل 10.2) ويعني هذا أن أغلب الجليسريدات الأحادية عندها بقايا أحماض دهنية في الوضع -2 وتنشأ أغلب الأحماض الدهنية الحرة المتكونة من الأوضاع الأخرى شاملة أنواع السلسلة القصيرة التي تكون سائدة في الوضع -3 .

3.2.3.2 الأحماض الدهنية الحرة ***Free Fatty Acids***

توجد في اللبن الطازج ويزيد التحلل الدهني كمياتها ، تكون الأحماض الدهنية القصيرة ذائبة في الماء ، يمكن أن تحلل الأحماض الدهنية إلى أيونات ، ***pK*** لها تكون حوالي 4.8 . في بلازما اللبن ، تكون الأحماض الدهنية سائدة في شكلها المتأين (أي كصابون) ، وتكون هذه

أكثر ذوبان في الماء النقي منها عن الأحماض الدهنية النقية . يوضـــح الجدول 7.2 ذوبانية هذه الأحماض في الماء . يكون التركيز في بلازما اللبن دائماً أقل من التركيز الحرج للجســـيمات (انظر تحت جزء *a* 3.1.1.3) .

تذوب الأحماض الدهنية جيداً في الزيت فقط في الحالة غير المتأينة ، وبالإضـــافة إلى ذلك تميل إلى تكوين ارتباط مزدوج ***Dimers*** بتكوين روابط هيدروجينية .

تكون تجزئة الأحماض في الزيت وكســور الماء ***water fractions*** صـعبة ، ويعني هذا أن الأحماض الدهنية القصـــيرة (C_6, C_4) تكون ســـائدة في البلازما ، والطويلة من (C_{14}) في الدهن . توزع الأحماض الأخرى بين كلا الجزئين وتذهب الأكثر إلى الدهن عند نقص الأس الهيدروجيني ***pH*** (تصبح عملية التأين أضعف) . وهذه ذات أهمية كبيرة لأن الأحماض القصيرة التي تكون مسئولة عن نكهة الصـــابون الزنخ التي تتكون بعد تحلل الدهن . يصـــبح كل هذا أكثر تعقيداً ، حيث أن الأحماض الدهنية وخاصـة الأحماض طويلة السـلسـلة تكون نشـيطة السـطح وتميل إلى التراكم في الســـطح بين الماء والزيت . التوزيع بين الحالات هو الأكثر أهمية لأن الأحماض تذوب في الحالة المائية (في هيئة صـــابون) وعلى ذلك فالأحماض الدهنية القصـــيرة هي المســئولة عن النكهة المزنخة الصابونية التي تظهر بعد تحلل الدهن .

4.2.3.2 الدهون المركبة ***Compound Lipids***

تكون الليبيدات الفســفورية أو الفوســفاتيدات أكثر تواجداً في اللبن . تمتلك أغلب هذه الدهون مجموعتان مشـحونتان (حامض وقاعدة) وعلى ذلك تكون قطبية . لا تذوب هذه الدهون جيداً في الماء أو الزيت ، ولكن تكون جسيمات في أي سائل . وتكون نشطة السطح بصورة كبيرة

وتميل إلى الارتباط مع بروتينات عديدة لتكون ليبوبروتينات . في اللبن ، تكون الدهون المركبة عادة في غشاء كريات الدهن في البلازما ، وتكون موجودة في جزيئات الليبوبروتين أو "ميكروسومات اللبن" .

معظم الدهون المركبة هي ليبيدات فسفورية . الأنواع الأساسية مشتقة من حامض الفوسفاتيدك بواسطة ربط القواعد العضوية المختلفة (انظر شكل 11.2) سفينجوميلين *Sphingomyelin* تكون مشتقة من سفينجوزين *Sphingosine* مثل السيريبروزيدات *Cerebrosides* . أغلب الدهون المركبة لها مجموعة قاعدية وحامضية ، وعلى ذلك تكون ذات قطبية متغيرة *Amphipolar* عند أس هيدروجيني متعادل ، ولكن البعض مثل الفوسفاتيدل سيرين *Phosphatidyl serine* وإنوسيتول *Inositol* تكون سالبة الشحنة . توجد في اللبن كمية صغيرة من حامض فوسفاتيديك وليسوفوسفاتيدات *Lysophosphatides* والتي لها شحنة سالبة أيضاً . يحفز الشكل الأخير المتكون بواسطة انفصال واحد من بقايا الحمض الدهني بواسطة أنزيمات الفوسفوليباز ، ويمكن أن تنتج هذه الإنزيمات العديد من البكتيريا .

وكما يظهر في جدول 8.2 يختلف نظام الحامض الدهني للدهون المركبة كلية عما هو موجود في ثلاثي أسيل جليسيرول يكون متوسط طول السلسلة أطول ، خاصة للسفينجوليبيدات ويكون متوسط عدد الروابط المزدوجة عالياً في الفوسفوليبيدات المحتوية على جليسرول . خاصة فوسفاتيديل إيثانولامين *Phosphatidyl ethanolamine* والتي تحتوي على نسبة عالية من المركبات غير المشبعة العديدة . تكون هذه الفوسفوليبيدات عرضة للأكسدة .

يضاف في بعض المنتجات اللبنية الفوسفوليبيدات مثل ناشرات السطح *Surfactant* . والتي تخص الصويا ليسيثين *Soya lecithin* أو جزءاً من ذلك المصدر ، يكون التركيب مختلفاً كلياً عما هو موجود في فوسفوليبيدات اللبن ، تتجه الدهون المضافة إلى تكوين فقاعات (الفقاعة هي كرة مجوفة مملوءة بالماء من 20 إلى 40 نانومتر) تتكون بواسطة طبقة مزدوجة محدبة من الفوسفوليبيدات .

جدول 9.2 المحتوى التقريبي للدهون في بعض المنتجات اللبنية

Table 2-9 Approximate content of Lipids in some Milk products

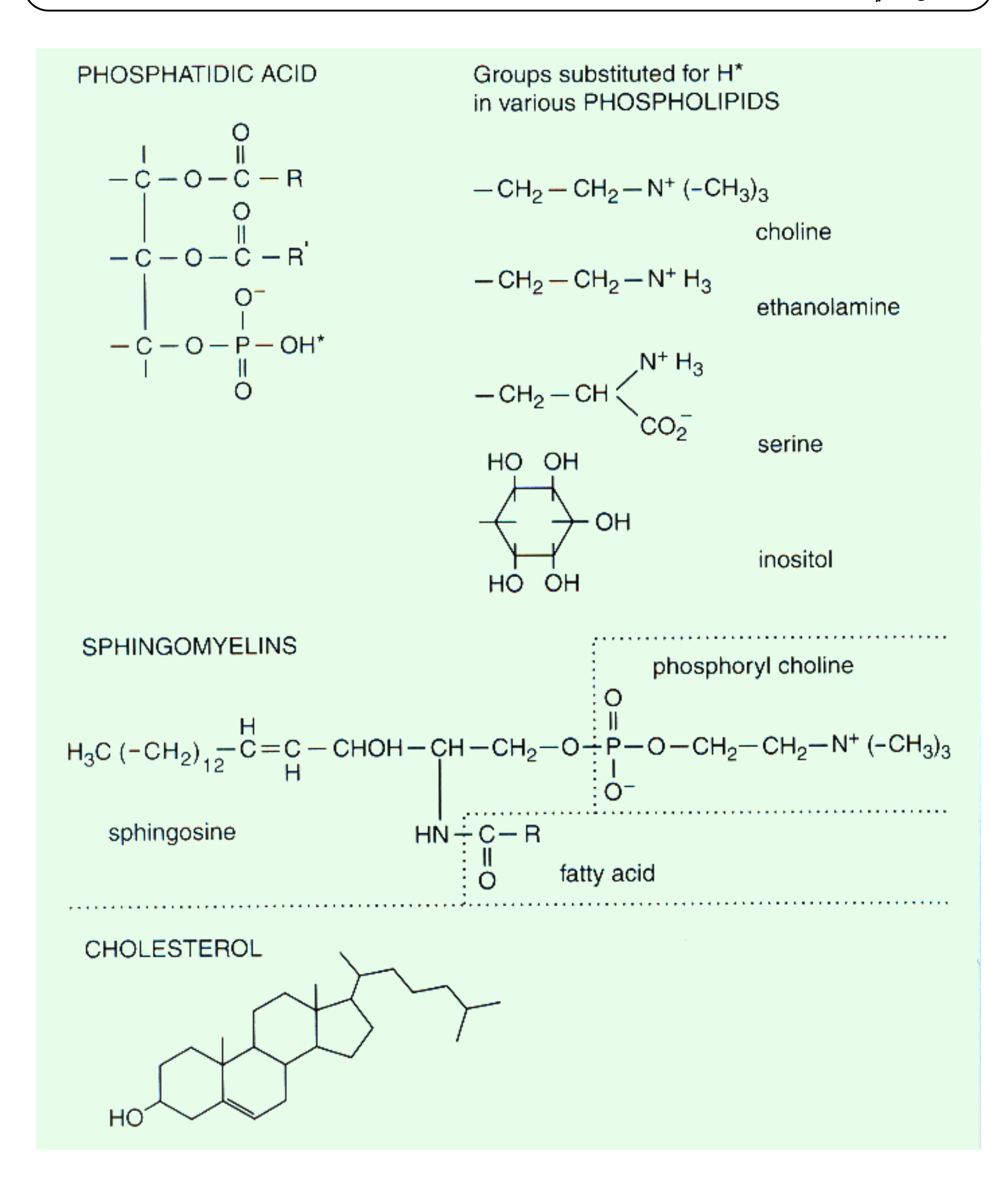
المنتج Product	الدهن الكلي Total fat	Composition (%W/W) المحتويات (وزن/وزن)		
		فوسفوليبيدات Phospholipids	ستيرولات Seterols	أحماض دهنية حرة Free fatty acids
اللبن المفصول Separated milk	0.06	0.015	0.002	0.002
Milk لبن	4	0.035	0.013	0.008
Cream قشدة	10	0.065	0.03	0.017
Cream	20	0.12	0.06	0.032
Cream	40	0.21	0.11	0.06
لبن القشدة 20% Buttermilk from 20% cream	0.4	0.07	0.005	0.002[1]
لبن القشدة المحتوي على 40% Buttermilk from 40% cream	0.6	0.13	0.011	0.002[1]
Butter (unsalted) زبدة	82	0.25	0.21	0.12[1]
دهن اللبن غير المائي Anhydrous milk fat	>99.8	0.00	0.25	0.15[1]

a. أعلى إذا تعرضت القشدة لتحلل دهني ، خاصة بعد فصلها .

a. Higher if the cream has been subject to lipolysis, especially after its separation.

5.2.3.2 الدهون غير القابلة للتصبن *Unsaponifiable Lipids*

يتكون الدهن غير قابل للتصـبن ، في اللبن كلياً من كولسـترول (شـكل 11.2) والذي يكون غير قطبي ويرتبط بسهولة مع الليبيدات الفوسفورية ، وتبعاً لذلك يكون جزء من الكولسترول في غشـاء كرية الـدهن ، تحـدث لجزء من الكولسـترول لـه عملية أسـترة إلى حامض دهني (عادة ما يكون قابلاً للتصبن) . تكون الكاروتينويدات مسئولة عن اللون الأصفر في دهن اللبن .



شكل 11.2 التركيب الجزيئي لبعض الدهون المركبة في اللبن R تعني سلسلة أليفاتية

Figure 2.11 Molecular structure of some of the compound lipids of milk. R denotes an aliphatic chain

6.2.3.2 الدهن في المنتجات اللبنية *The Fat in Milk Products*

لأن الدهون المختلفة تكون غير منتظمة التوزيع بين أجزاء اللبن الفيزيائية (الجدول 8.2) ، ولذلك فإن مكونات الدهن لمنتجات اللبن المختلفة تختلف ، وينشأ الاختلاف الكبير من التغيرات في كمية المادة من أغشية كريات الدهن ، وضحت الأمثلة في الجدول 9.2 ، دهن اللبن الجاف يحضر من الزبد بتسييحها وبفصلها وتجفيف الطبقة الزيتية الناتجة وتكون مكوناتها مساوية للدهن في لب كريات دهن اللبن .

3.3.2 الجوانب الغذائية *Nutritional Aspects*

يعطي الدهن في اللبن طاقة تقدر بحوالي 37 كيلوجول لكل جرام[1] . الدهن حامل فعال للطاقة الغذائية بسبب محتواه العالي من الطاقة ولأنه لا يزيد الضغط الأسموزي للبن ، يكون الأخير محدوداً بطريقة فسيولوجية لحوالي 700 كليوبار (KPa) .
تقدر طاقة البروتينات بحوالي 17 كيلوجول لكل جرام[1] ولا تزيد عامة الضغط الأسموزي ولكن السكريات (16 كليوجول لكل جرام[1]) تزيد الضغط الأسموزي للبن (فجائياً إذا حل سكر أحادي محل لاكتوز اللبن ، يمكن أن يحتوي اللبن فقط نصف سكر زيادة) .
يهضم دهن اللبن جيداً دون الاعتماد على الشكل الفيزيائي (طبيعياً أو كريات دهن مجنسة *Homogenized* أو زبده) التي تؤخذ منه ، إلا أن الأحماض الدهنية طويلة السلسلة وخاصة حامض سيتريك الذي يتحرر من الدهن في الأمعاء الدقيقة ، يمكن أن لا يمتص بالكامل في وجود الكالسيوم ، لأن ستيرات الكالسيوم تكون شحيحة الذوبان عند قيمة الأس الهيدروجيني المتعادل الموجود .

لدهن اللبن وظائف أخرى ، واحدة منها كونه مذيب لبعض الفيتامينات (فيتامين *E,D,A*) ، وظيفة أخرى هي تقديم المغذيات مثل حامض لينوليك *linoleic* واللينولينيك *linolenic* والتي عادة ما تسمى الأحماض الدهنية الأساسية *Essential Fatty Acids* (*EFA*) وتعتبر هذه الأحماض مادة تمهيدية لبعض الهرمونات والمواد الأيضية الضرورية ، وكذلك تقدم بقايا

الأحماض الدهنية ذات انصهار منخفض وطويلة السلسلة في الفوسفوليبيدات التي تحتاجها كل خلية لعمل الأغشية والمحافظة عليها ، يكون محتوى الأحماض الدهنية الأساسية في دهن لبن الأبقار منخفضاً بالرغم من أنه يكون تحت 2% طاقة . ولم تشاهد أعراض نقص في الإنسان أو حيوانات التجارب التي لها دهن لبن كمصدر وحيد للغذاء .

يعتبر دهن اللبن مادة رافعة لمستوى الكولسترول في الدم *Hypercholesteramic* نتيجة محتواها العالي من الأحماض الدهنية المشبعة وذات المحتوى المنخفض للأحماض الدهنية غير المشبعة العديدة . وبالتالي يتهم تعاطي دهن اللبن بأنه يزيد من احتمالات الإصابة بأمراض القلب التاجية (*CHD*) . يرفع دهن اللبن مستوى الكولسترول على الأقل في بعض الأفراد ، ولكن اللبن الكامل *whole milk* لا يسبب ذلك . لم تؤكد دراسات هامة أي تأثير معنوي لتعاطي دهن اللبن على حالات الوفاة *Mortality* .

تعاطي دهن مرتفع متهم برفع نسبة الإصابة بالسرطان ، التأثير بسيط جداً ، من الناحية الأخرى يفترض بعض العلماء أن وجود أحماض لينولييك مرتبطة معينة *Certain* (*CLAS*) *conjugated Linoleic Acids* في دهن اللبن يمكن أن يحمي الجسم من الإصابة بالسرطان . ولكن التأثير المعنوي لهذه الدهون على الإصابة بالسرطان لم يؤكَد بعد . تنشأ أحماض اللينولييك المرتبطة *CLAS* من عمليات تخمر في الحيوانات المجترة ولكن تركيز المواد التمهيدية في العليقة به اختلاف كبير ، وعلى ذلك فكميات دهن اللبن تختلف مع نوعية الغذاء ، وقد تم تسجيل القيم أعلى من حوالي 2 مول % .

4.3.2 الأكسدة الذاتية ***Autoxidation***

يمكن أكسدة الروابط المزدوجة في الحامض الدهني أو بقايا الحامض الدهني ، من نواتج الأكسدة التي يتم الحصول عليها ، يمكن أن تنتج بعض المركبات التي يمكن أن تتكون بتركيزات قليلة وبذلك تسبب نكهات غير مرغوب فيها ، وتشمل نكهات تشحم *tallowy* ، نكهات دهنية *Fatty* ، نكهة السمك *Fishy* ، نكهة معدنية *Metallic* ، رائحة الكرتون *-Cardboard*

like وقد تسبب النكهة غير المرغوب فيها مشاكل في المشروبات اللبنية . لبن الزبدة القشدي الحامضي *Sour-Cream butter milk* . القشدة وخصوصاً المنتجات عالية الدهن التي تحفظ لمدة طولية مثل الزبدة وبودرة اللبن كامل الدسم تفقد التفاعلات التي تحدث تكون غاية في التعقيد وهناك عوامل معقدة عديدة .

1.4.3.2 التفاعلات المشتركة *Reaction Involved*

الأكسجين الجزيئ (أي الأكسجين الثلاثي $^3O_2$ به زوج إلكترونات غير مزدوجة في المستوى πp_2 يوجد في حالة غير نشطة نسبياً ، تكون الأكاسيد التالية أكثر تفاعلاً :

1. أكسجين مفرد $^1O_2$.
2. شق أنيوني فوق أكسيد O_2^- .
3. شق هيدروكسيلي $O\bar{H}.$.

الأكسجين المنفرد هو العامل الرئيسي لبدء الأكسدة في الدهن ، وذلك لأنها طاردة للألكترونات *Electrophilic* واحدة من ذرات الأكسجين عندها ألكترونان مزدوجان $2p\pi$ ولكن الآخر ليس عنده شيء في المدار $2p\pi$ ، وتستطيع أن تتفاعل مع رابطة مزدوجة لتعطي بيروكسيد الهيدروجين *Hydroperoxide* بينما تحدث إزاحة للرابطة المزدوجة (شكل 12.2 التفاعل 16).

السؤال الآن ، هو كيف يستطيع أكسجين مفرد أن يتولد في اللبن ، هناك مسارات قليلة للأكسجين $^1O_2$ لكي يتكون :

1. كنتيجة للأكسدة الضوئية ، أي تفاعل بين أكسجين ثلاثي وريبوفلافين المثار بواسطة الضوء .
2. بتأثير البروكسيد و أكسيد الزانثين .
3. بواسطة Cu^{2+} وحامض الأسكوربيك .
4. التفاعل بين شق أنيون فوق الأكسيد وبيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 .

1. *Initiation*, e.g.
   a. Formation of singlet oxygen $^1O_2$

   $|\dot{O}-\dot{O}| \longrightarrow \oplus \overline{O}-\overline{O}|\ominus$

   b. Formation of peroxide

   $\begin{matrix} H \\ | \\ O \\ | \\ O \\ | \\ -C-C \\ | \\ H \end{matrix}$ ... $C=C$ ... $\longrightarrow$ ... $C-H$, H

   c. Formation of radical

   $ROOH \xrightarrow{catalyst} ROO\bullet + H\bullet$

2. *Chain reaction*

   $ROO\bullet + RH \longrightarrow ROOH + R\bullet$ (slow)
   $R\bullet + {}^3O_2 \longrightarrow ROO\bullet$ (fast)
   $RH + {}^3O_2 \longrightarrow ROOH$ +

3. *Termination*, e.g.

   $ROO\bullet + R\bullet \longrightarrow ROOR$
   $R\bullet + R\bullet \longrightarrow R-R$

4. *Breakdown of hydroperoxides*

   $ROOH \longrightarrow$ unsaturated aldehydes and ketones (C_6-C_{11}),

   e.g. $R'-CH=CH-CH=CH-CHO$

شكل **12.2** صورة جانبية تقريبية لتفاعل الأكسدة الفوقية لبقايا حامض دهني غير مشبع

Figure 2.12 Approximate profile of the autoxidation reaction of unsaturated fatty acid residues

5. ويمكن أن يتكون ، يتحلل بيروكسيد الهيدروجين أثناء الأكسدة الذاتية للدهن .

يوجد رسـم مبسـيط لأكسـدة الدهن في شـكل 12.2 ، يجب أن تتكون أولاً شـقوق فوق الأكسيد ، هناك مسارات عديدة لكي يتم ذلك .

تكون البداية عادة بطيئة جداً حتى تتكون بيروكسيدات الهيدروجين ، يكون إنتاج أكسجين مفرد هاماً في البداية . في اللبن العامل المساعد الأساسي بالنسبة للتفاعل $1C$ في شكل 12.2 من المحتمل أن يكون النحاس Cu^{2+} .

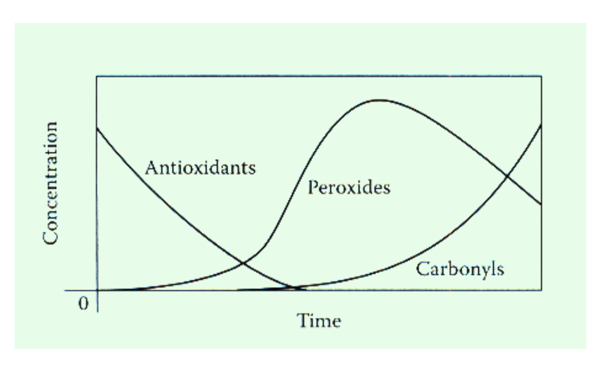
بعد ذلك تفاعل سلسلة يتقدم ويحافظ على الدوام ومن هنا جاءت التسمية ، الأكسدة الذاتية *autoxidation* ، يزداد الآن تركيز بيروكسيد الهيدروجين معنوياً . إذا توافر العامل المساعد المناسب ، يمكن لبعض من بيروكسيدات الهيدروجين متابعة التفاعل *IC* وبذلك تسهل البداية *facititate the initiation* ، أحياناً تتفاعل الشقوق مع بعضها لتعطي منتجات نهائية ثابتة (وفيها تصبح بقايا الحمض الدهني مربوطة تساهمياً) وبذلك تنهي التفاعل (*Termination*) .

بيروكسيدات الهيدروجين المتكونة ليس لها نكهة . ولكنها ليست ثابتة وتتكسر بطرق مختلفة لتكون كيتونات وألدهيدات غير مشبعة . بعض منها (خاصة المركبات التي بها المجموعة $-CH=CH-CH=CH-COH$) تتميز بنكهة قوية جداً ، أي أن لديها مستوى تركيز أقل من 10^{-3} جزء من المليون ، تحدث تفاعلات كثيرة أخرى أثناء أكسدة الدهن في اللبن ، بالإضافة إلى ذلك تعتمد نسبة معدل التفاعل بصورة معنوية على هذه الظروف مثل درجة الحرارة . وبالتالي تستطيع منتجات التفاعل أيضاً أن تختلف في الصفات . ويفهم ضمناً أن النكهة غير المقبولة التي تتكون تحت ظروف معينة (أي درجات الحرارة) ليس لها علاقة دائماً وبصورة مرضية مع تلك التي نتجت تحت ظروف أخرى مثل درجات الحرارة المنخفضة . القاعدة هي أن درجات الحرارة العالية تؤدي إلى تكوين سريع لعيوب كثيرة . المعدل الذي تتكون به النكهات غير المقبولة تعتمد خاصة على درجة عدم التشبع ، فمثلاً يكون معدل التفاعل للأحماض المحتوية على C_{18} وبها رابطة مزدوجة واحدة ، اثنان أو ثلاثة بنسبة 80:30:1 .

ويمكن أن تعيق مضادات الأكسدة تفاعل السلسلة أو تمنع بدايته ولكنها تستهلك في هذه العملية ، مضادات الأكسدة الطبيعية هي توكوفيرول *Tocopherol* (الذي يتفاعل مع

الشـــقوق) وبيتا كاروتين *B-carotene* التي تســـتطيع التفاعل مع أكســـجين منفرد ، تم تكوين مضـادات حيوية مصـنعة عديدة ، ما يسـمى المحفزات *synergists* (مثل الليبيدات الفوسـفورية الذائبة في الدهن) تزيد من فعل مضـادات الأكسـدة . تستطيع مواد أخرى مثل السـيترات التفاعل مع أيونات المعادن المحفزة .

وتحتاج الأكســـدة الذاتية عادة تحت ظروف عملية ، إلى بعض الوقت لكي تعمل ، في البداية تستهلك مضادات الأكسدة بعد إنجازها عملها ، البيروكسيدات تتحرر أولاً وبالتالي تتكسر وتكون كميات من منتجات النكهة كما ذُكر سابقاً (انظر شكل 13.2) .



شكل 13.2 التركيزات النسبية لمضادات الأكسدة ، البيروكسيدات الهيدروجينية ومركبات الكربونيل الحرة أثناء الأكسدة الذاتية للدهن شكل توضيحي ولا ينسب إلى مقياس الرسم

Figure 2.13 Relative concentrations of antioxidants, hydroperoxides, and free carbonyl components during autoxidation of a fat. Highly schematic, not to scale

2.4.3.2 منتجات لبنية *Milk Products*

الأكسدة الذاتية لدهن اللبن في اللبن والمنتجات اللبنية عادة ما يبدأ بالليبيدات الفوسفورية لغشاء كريات الدهن . هذه الدهون لها بقايا أحماض دهنية غير مشبعة عالية (جداول 7.2 و 8.2) بالإضـافة إلى ذلك النحاس *Cu* المحفز الرئيسـي ، يسـتطيع التواجد في غشـاء كريات الدهن ولكن ليس في اللب الذي يحتوي على الجليسـريدات الثلاثية ، يكون النحاس نشـطاً كمحفز إذا وجدت

الليبيدات الفوســفورية على وجه الخصــوص ، أضــف إلى ذلك على الأقل في اللبن ومخيض اللبن *buttermilk* ويحتاج إلى قليل من حامض الأسـكوربيك يدخل النحاس إلى اللبن عن طريق التلوث أثناء أو بعد عملية الحلب ويكون أكثر نشـــاطاً كمحفز عن النحاس الطبيعي . هناك اختلافات كبيرة في الحسـاسية للأكسـدة الذاتية للدهن بين الكميات المختلفة للبن ، يحدث التلوث في بعض الألبان بكميات ضئيلة و يكفي 5 ميكروجرام نحاس لكل كليوجرام لتكوين نكهة الأكسدة ، بينما تكون في بعض الألبـان 200 ميكروجرام . كليوجرام$^{-1}$ غير كـافيـة ، يزعم بعض المشـــتغلين أن الأكســدة تكون تلقائية في بعض الألبان . لذلك يجب تجنب التلوث اليدوي بكميات ضـئيلة من النحاس (10 ميكروجرام . كليوجرام$^{-1}$) عملياً .

ويمكن أن يكون الحديد أيضــاً نشــطاً كمحفز ، عرضــياً ولكن ليس في وجود البروتين أي ليس في اللبن .

يمكن أيضــاً أن تســرع الأكســدة الذاتية للدهن في اللبن بالتعرض لضــوء ذي موجات قصيرة. عادة ما يكفي وضع قنينة لبن لمدة 10 دقائق في ضوء الشمس لإنتاج نكهة تشحم مميزة *tallowy flavor* . ضـوء آخر يسـبب نكهة غير مرغوبة مثل نكهات تكون فيها أكسـدة الدهن غير موجودة (فصل 4.4) الريبوفلافين هو عامل أساسي في الأكسدة الذاتية التي يسببها الضوء .

يكون اللبن حديث الحلب أكثر عرضـة لتكوين نكهات تسـببها أكسـدة الدهن ، يمكن أن يرجع التغير الطبيعي في التعرض إلى التغير في القـدرة على الاختزال– الأكســــدة ، تركيز التكوفيرول (مضـــاد للأكســـدة) . حامض الأســـكوربيك وإنزيمات الأكســـدة (بيروكســـيديز *peroxidase* ، زانثين أكسيديز *Xanthine oxidase*) . تغير نشاط إنزيم سوبر أكسيد ديزميتيز *Super oxide dismutase* يمكن أيضــاً أن تكون ذات أهمية . يحفز هذا الإنزيم تحلل أنيون فوق الأكسيد (تحت فصل 2.5.2) وعلى ذلك يعمل كمضاد للأكسدة .

تستطيع معاملات عديدة التأثير على تفاعلات الأكسدة الذاتية :

1- يعتمد دور النحاس في الأكسدة الذاتية على تركيزه في غشاء كريات الدهن ، يكون تركيز النحاس الطبيعي في الغشاء منخفضاً للغاية (تكون الكمية ثابتة عند 10 ميكروجرام/100 جرام دهن ، وحتى لو كان تركيز النحاس في اللبن عالياً) ولا يسبب عملية أكسدة معنوية ، يسبب تبريد اللبن (حفظه في درجة 5 مئوية لمدة 3 ساعات) انخفاضاً آخر حيث يتحرك حوالي نصف النحاس الطبيعي إلى البلازما .

2- يذهب في اللبن 1% إلى 10% من النحاس المضاف إلى الغشاء ، تزداد النسبة مع الكمية المضافة .

3- يسبب تسخين اللبن انتقال جزء من النحاس من البلازما إلى الغشاء . التسخين لمدة 15 ثانية عند درجة 72 درجة مئوية لها تأثير معنوي ، 15 ثانية عند 90 درجة مئوية له تأثير أكبر، يمكن أن يزيد محتوى النحاس في الغشاء بـ 15 ضعف .

تسخين القشدة فقط يسبب زيادة صغيرة ، لأنه تتوفر في هذه الحالة كمية صغيرة من النحاس لكل وحدة كتلة من كريات الدهن . ولكي يتم التأكد جميع هذا النحاس المتوفر ليس له نشاط محفز كامل (انظر البند 6) .

4- يسبب اللبن الحامض أو القشدة تحركاً 30% إلى 40% من النحاس المضاف من البلازما إلى غشاء كريات الدهن . ويمكن أن يشرح هذا لماذا تكون زبدة القشدة الناضجة أكثر قابلية للأكسدة الذاتية . ولكن تفاعل الأكسدة نفسه يمكن أيضاً أن يكون أسرع عند أس هيدروجيني منخفض .

5- إن تسخين الزبدة (لمدة 15 ثانية عند درجة 83 درجة مئوية) قبل التحميض يمنع كلياً نقل النحاس ، المذكور في البند 4 . الشرح غير مؤكد ولكن النقطة التالية يمكن أن تكون هي السبب .

6- تسبب البسترة الفائقة تعرض مجموعات إضافية من الكبريت المهدرج وخاصة تكوين كبريتيد الهيدروجين H_2S . كبريتيد الهيدروجين يزيل أيونات Cu^{2+} لأن كبريتيد النحاس له منتجات

ذائبة لأقل من 10^{-47} مول^{2} . لتر$^{-2}$. منتجات ميلارد ***Maillard products*** يمكن أيضـاً أن تعمل كمضادات أكسدة . باختصار يثبط التسخين الشديد الأكسدة الذاتية بشكل ملموس .

7- يمكن أن يسـبب التسـخين عدم تنشـيط إنزيم فوق أكسـيد ديسـميتيز ***Super oxide dismutase*** (انظر 1.15.1.1) ، والذي يعتبر مضـاد أكسـدة هام ، يزيد التسـخين المعتدل للبن القدرة على الأكسدة الذاتية ، ربما أيضاً لأنها تؤدي لهجرة النحاس (بند 3) .

8- يكون اللبن المتجانس ***Homogenized milk*** أقل قدرة على الأكسـدة الذاتية ، حتى إذا جنس بالضوء ، يجب أن يكون التغير في الطبقة السطحية لكريات الدهن ولكن السبب غير معروف .

9- يزداد عادة ، معدل الأكسدة الذاتية بارتفاع درجة الحرارة ($Q_{10} = 2$) وينطبق ذلك أيضاً على منتجات لبنية كثيرة في اللبن الخام الطازج ، تتكون نكهة الأكسـدة أسـرع إذا كانت درجة الحرارة منخفضة . السبب أو الشرح غير مؤكد ، ولكن من المحتمل أن يكون نشاط إنزيم فوق أكسيد ديسميتيز هو السبب .

10- يعتمد معدل تفاعلات الأكسـدة الذاتية في المنتجات الجافة على نشـاط الماء (a_w) (انظر شـكل 5.10) . من الواضـح أن الماء يكون عاملاً مضـاداً للأكسـدة وهذا يكون عاملاً في بودرة اللبن ، حيث تتكون نكهات الشحم غير المرغوبة أسرع إذا انخفض المحتوى المائي ، عند انخفاض a_w لا نحتاج إلى حامض الأسكوربيك لكي يسبب الأكسدة الذاتية والتوكوفيرولات *Tocopherols* لا تعمل كمثبطات .

11- يصبح المحتوى من الأكسـجين عاملاً محدداً ، إذا كان منخفضـاً (حوالي 0.8 مليلتر O_2 لكل 100 مليلتر دهن) ، أي يعادل لضغط أكسجيني قدره 0.02 بار ، يمكن فقط أن توجد هذه المستويات المنخفضة للأكسـجين في اللبن المخمر والجبن ، أو في منتجات محكمة الغلق مثل بودرة اللبن المعلبة في علب من الصفيح .

5.3.2 تبلور الجليسريدات الثلاثية Triglyceride Crystallization

تبلور الدهن (جليسريدات ثلاثية) ظاهرة معقدة خاصة لدهن اللبن بمكوناته الواسعة جداً ، وتؤثر بلورات الدهن على تماسك قوام المنتجات عالية الدهن ، والإحساس بها في الفم خاصة الزبدة ، والثباتية الفيزيائية خاصة التجمع الجزئي لكريات الدهن .

1.5.3.2 مدى الانصهار Melting range

الأحماض الدهنية لها نقاط انصهار مختلفة ، ويتوقف هذا على مدى انصهار الدهون التي فيها الأحماض التي تم أسترتها . فكلما قصر طول السلسلة وازداد عدد الروابط المزدوجة ، كلما انخفضت نقطة الانصهار (جدول 7.2) . ولكن متغيرات أخرى تؤثر على نقطة الانصهار .

أ- الأعداد الفردية لذرات الكربون : تنصهر الأحماض الدهنية فردية العدد الكربوني 5 درجات أقل من الأعداد الزوجية لذرات الكربون .

ب- يمكن أن يسبب التفرع انخفاضاً من 1-40 K عندما يقارن بالسلاسل الكربونية غير المتفرعة .

ج- يمكن أن يجعل مكان الرابطة المزدوجة ، الفرق أعلى بحوالي 20 K .

د- الترانس *Trans* : من 20-30 K أعلى من الـ *cis* .

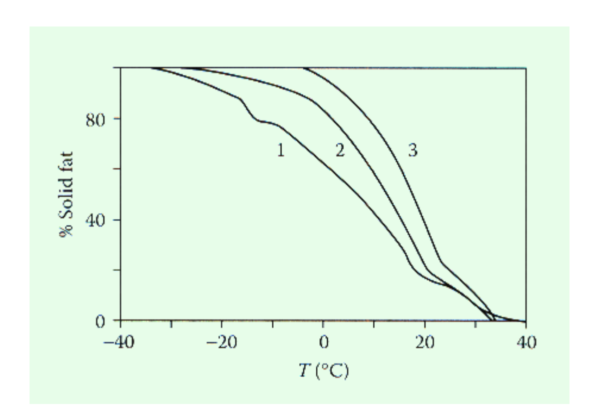
هـ- مشتقة *Conjugated* : 25 K أعلى من غير المشتقة *non conjugated* .

تعتمد نقطة انصهار جزيء الجليسريدات الثلاثية أيضاً على توزيع بقايا الأحماض الدهنية على الأوضاع الثلاثة . جليسريدات ثلاثية غير متماثلة بقوة (مثل *PPB* حيث P = حامض البالمتيك و B = حامض البيتريك) لها نقطة انصهار منخفضة عن الجليسريدات الثلاثية المتماثلة التي لها نفس بقايا الحامض الدهني (مثل *PBP*) .

دهن اللبن ، هو مخلوط من جليسريدات ثلاثية مختلفة عديدة (تحت فصل 2.3.2) ذات نقط انصهار مختلفة . الدهن المتعدد المحتويات له مجال انصهار واسع ، كما يتضح في شكل 14.2

بين -30 و +40 درجة مئوية ، يتكون دهن اللبن عادة من دهن ســائل وصــلب . أي زيت مع بلورات عديدة ، يكون كل جليسريد ثلاثي مفرد سائلاً تحت درجة انصهاره ، فمثلاً أعلى انصهار لجلســريدات ثلاثية هو ســترات ثلاثية *tristearate* ، درجة انصــهارها هي 72 درجة مئوية أي حوالي 35 *K* ، أعلى درجة انصهار نهائية لدهن اللبن ، تكون الجلسريدات الثلاثية الصلبة ذائبة في الدهن الســائل ، يكون ذوبانية جلســريد ثلاثي مفرد في الزيت ثابتاً مع نظرية الديناميكية الحرارية للمحاليل الكاملة . ولكن إذا تبلورت جلســـريدات ثلاثية عديدة ، فإنها يمكن أن تتداخل مع ذوبانية كل واحدة منها ، يعتمد هذا التأثير على الذوبانية على ظروف خارجية كما سـيتضـح بعد ذلك ، ويوضـح هذا السبب في أن منحنى الانصـهار لدهن اللبن لا يمكن استنتاجه من مكوناته . طبيعياً ، محتوى عالي من جلســـريدات ثلاثية ذات انصــــهار عالٍ تعطي محتوى أعلى من الدهن الصلب في درجة حرارة الغرفة .

تعتمد منحنيات التصــلب أكثر على الظروف الخارجية منها عن منحنيات الانصــهار لأن التبريد الفائق يمكن أن يحدث ، كما سيتضح فيما بعد .

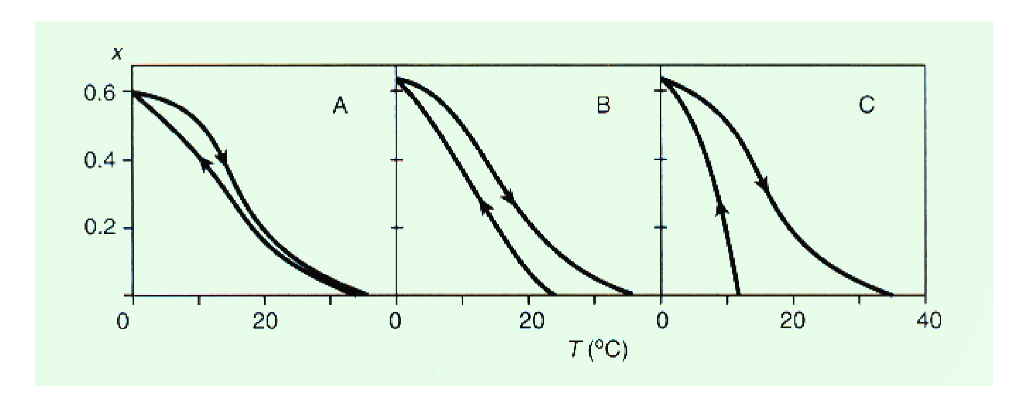


شكل 14.2 منحنيات الانصهار لدهن اللبن . 1. دهن "الصيف يبرد ببطئ 2. دهن سامي *Same fat* يبرد بسرعة 3. دهن الشتاء *Winter fat* يبرد بسرعة

Figure 2.14 Melting curves of milk fat. 1. "Summer" fat, slowly cooled. 2. Same fat, rapidly cooled. 3. "Winter" fat, rapidly cooled. (Adapted from J. Hannewijk and A.J. Haighton, *Neth. Milk Dairy J.*, 11, 304, 1957)

2.5.3.2 عملية تكوين نواة *Nulceation*

لا تســـتطيع المادة البلورة إلا إذا كونت نواة . وبمعنى آخر ، البلورة الجنينية الصـــغيرة جداً ، ولكنها كبيرة بدرجة كافية لكي تهرب في الحال من الذوبان ثانية (تزيد ذوبانية جزيء صـغير كلما نقص قطر انحنائها (تحت جزء 4.1.1.3) . عادة ما تحتاج عملية تكون نواة متجانســـة (أي تكوين الأنوية في ســـائل نقي) تبريد فائق لتكون نواة في خلال ســـاعات قليلة ، في الحقيقة يكون التبريد الفائق لحوالي 35 درجة مئوية تحت درجة الانصـــهار النهائية مطلوباً . ولكن عملية تكوين نواة تكون عادة غير متجانســة . أي أن التكوين يحدث عند أسـطح جزئيات ملوثة صـغيرة جداً . تسـمى مثل هذه الجزيئات شـوائب محفزة *Catalytic impurities* وكقاعدة ، عدد الشـوائب التي تحفز عملية تكوين نواة (N) تزداد معنوياً بانخفاض درجة الحرارة .



شكل 15.2 أمثلة لنسبة الدهن التي تكون صلبة (X) بعد 24 ساعة تبريد عند درجة حرارة T وبعد التسخين ثانية (بعد الاحتفاظ بها عند درجة صفر مئوية) (A) دهن في كتل كبيرة (B) نفس الدهن في قشدة معاد تكوينها

Figure 2.15 Examples of the proportion of fat being solid (x) after 24 h cooling to temperature T, and after warming again (after keeping it at 0°C). (A) Fat in bulk. (B) Same fat in cream. (C) Same fat in homogenized cream. (Examples adapted from P. Walstra and E.C.H. van Beresteyn, *Neth. Milk Dairy J.*, 29, 35, 1975)

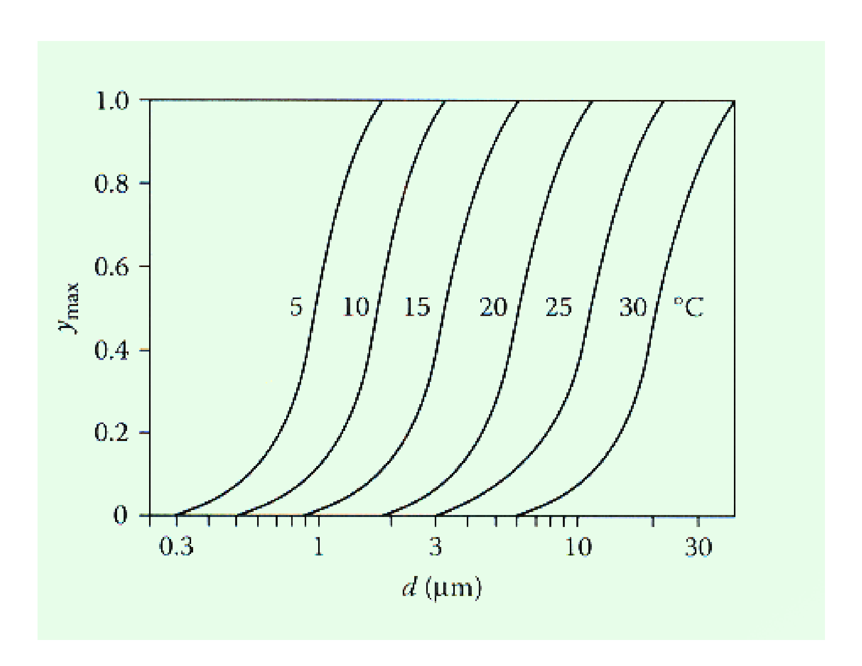
في دهن اللبن ، إذا وجد في كتلة كبيرة تبريد فائق لمدة بسيطة ، ولنقل 5 K يسبب شوائب محفزة كافية لإحداث البلورة ، فإنها تستطيع بمجرد تكون بلورة الدهن بدورها العمل كشوائب محفزة لجليسريدات أخرى . ولكي يحدث ذلك يكفي تبريد فائق صغير جداً وذلك لوجود فوق الترتيب *epitaxy* ، بمعنى أن نظام جزيئات البلورة ، لكي يتبلور غالباً ما يرتب نفسه فوق نظام البلورة الموجود فعلاً . يمكن أن يظهر دهن اللبن الموجود في كتل اضطرابات بسيطة بين عملية التجمد ومنحنيات الانصهار (شكل *A.15.2*) .

يمكن أن يكون الوضع مختلفاً للغاية ، إذا تم استحلاب الدهن . سوف يكفي الدهن الموجود في كتل *bulk fat* بعض الشوائب المحفزة 10^3 لكل جرام لضمان بلورة سريعة ، ولكن يتجزأ في اللبن جرام واحد من الدهن إلى حوالي 10^{11} كريات دهن ، وحتى في اللبن المتجانس هناك أكثر من $10^{14} <$ كريات . في كل من هذه الكريات يجب أن تتكون نوية واحدة ، وتبعاً لذلك يمكن أن يكون تبريد فائق معتبر ضرورياً قد تحدث اضطرابات هستيرية معنوية بين عملية التجمد ومنحنيات الانصهار (شكل *B.15.2*) . طبيعياً ، تعتمد قوة هذا التأثير على حجم الكرية ، أي أن التبريد الفائق يجب أن يكون أعمق إذا كانت الكريات أصغر . وإذا كان هناك شوائب محفزة B لكل مليلتر من الدهن وإذا كان حجم الكرية هو v مليلتر فإن $y_{\max} = 1 - e^{-vB}$.

حيث y هي نسبة الدهن في الكريات المحتوية على بلورة واحدة أو أكثر ، يعتمد المتغير B كثيراً على درجة حرارة دهن اللبن ، B تتضاعف لكل 1.75 درجة انخفاض في درجة الحرارة عند مستوى حراري معين ، يمكن أن يخلو أو ينقص جزء من الدهن من أي بلورة موجودة ، إذا كان الدهن تم استحلابه بدقة وصفاء . من حيث المبدأ كل كرية يجب أن تحتوي على بلورات . عملياً لا تحدث تغيرات بعد 24 ساعة ، تكون عملية البلورة في الدهن المجزأ بدقة *finely divided fat* أبطأ عن الدهن الموجود في كتل *bulk* . شكل 16.2 يعطي أمثلة للتبريد الفائق لدهن اللبن ذات مكونات معينة .

ومن المسـلَّم به أن جسـيمات أو بلورات الجليسـريدات الأحادية تكون الشـوائب المحفزة الأسـاسـية في دهن اللبن . فمثلاً يكون الاحتياج إلى التبريد الفائق العميق أقل عند زيادة التحليل الدهني ، ويتضمن قيماً أعلى لـ *B* .

ظاهرة هامة أخرى هي تكون الأنوية الثانوية ، والتي يظهر أنها تكون سـائدة وواضـحة في مخاليط الجليسـريدات الثلاثية ، خاصـة في دهن اللبن . وهذا يعني أنه حالما تتكون البلورة من النواة ، تتكون بلورات أخرى بسـرعة بالقرب من البلورة الأولى . ويحدث هذا إذا كان التبريد الفائق عميقاً . ويتطلب ذلك تركيزاً عالياً للأنوية . أي عدداً كبيراً من البلورات لكل وحدة حجم .



شكل 16.2 (a) أمثلة لأجزاء من دهن اللبن الموجود في كريات الدهن التي تحتوي على دهن صلب (ymax) كدالة على قطر الكرية (d) ودرجات الحرارة

Figure 2.16 Examples of the proportion of milk fat present in fat globules that eventually contain solid fat (y_{max}) as a function of the globule diameter (*d*) and temperature. (Example adapted from P. Walstra and E.C.H. van Beresteyn, *Neth. Dairy J.*, 29, 35, 1975)

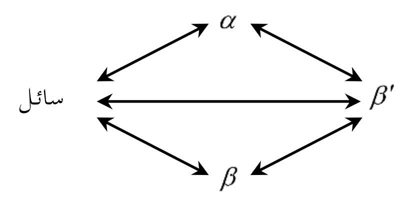
3.5.3.2 نمو البلورة *Crystal Growth*

يكون نمو الأنوية أو البلورة في دهن اللبن بطيئاً للغاية ، يأخذ الجزيء الكبير والمستطيل والمرن للجليسريدات الثلاثية وقتاً طويلاً قبل الحصول على الوضع الصحيح وانطباقه داخل الشبكة البلورية ، قبل ملاءمة جزئ داخل الشبكة فإنه عادة ينتشر للخارج ثانية . بالإضافة إلى ذلك هناك كثير من الجزيئات المتنافسة والتي تتشابه مع الموجودة في البلورة التي تهيئ نفسها داخل الشبكة . وعليها أن تنتشر خارجاً مرة أخرى قبل أن يستطيع جزء ملائم أن يحتل مكاناً في الشبكة البلورة .

لعملية البلورة متساوية الحرارة *Isothermal* لدهن اللبن عند درجة حرارة 25 درجة مئوية ، يمكن أن تأخذ 1-2 ساعة قبل أن تتبلور نصف الكمية النهائية هذه $t_{0.5}$ تكون نصفية لكل انخفاض في درجة الحرارة قدره 5-6 K . ويحدث هذا لأن انخفاض درجة الحرارة يضمن فوق تشبع أكبر . ومع ذلك فإن معدلات البلورة تعتمد عملياً على ظروف مثل حجم البلورة ومعدل إزاحة حرارة البلورة وبالإضافة إلى ذلك فإن معدل عملية البلورة يمكن أن يكون متورطاً .

4.5.3.2 تعدد الشكل **Polymorphism**

تستطيع الجليسريدات الثلاثية مثل أغلب الجزيئات ذات السلاسل الأليفاتية الطويلة ، أن تتبلور في ثلاث تعديلات مختلفة ، يعبر عنها بـــــ α ، B' ، B . يميز كل تحور أو تعديل بنوع شبكة البلورة . (أي طريقة تعبئة الجزيئات) ، وتشمل المسافة المتبادلة بين طبقات الجزيئات ، ولذلك ، يمكن التعرف على التحورات بواسطة انكسار أشعة X . في الترتيب α ، β' و β تزيد نقاط الانصهار (للستيرات الثلاثية ، 72,64,55 درجة مئوية) كما تفعل الطاقة الكامنة للانصهار وكثافة البلورات ، ويتطلب هذا أن درجة القرب *Closeness* والتعقيد *Intricacy* لملأ الجزيئات في الشبكة وحرية حركتها تقل في نفس الترتيب ، تكون التعديلات في α و β' بعد الثبات *Metastable* يمكن أن يتم الانتقال *Transitions* طبقاً للمخطط التالي :



لا يمكن أن تحدث أي انتقالات أخرى ، يوضح الجدول 10.2 بعض خواص تعدد الشكل في الستيرات الثلاثية . ومن الواضح أن نقطة الانصهار ، حرارة الانصهار وكثافة البلورة تزداد في الترتيب التالي $\alpha \leftarrow \beta^{-} \leftarrow \beta$. ويعني هذا أن القرب والتعقيد المناسب للجزيئات في الشبكة يزداد وحرية الحركة تقل . في التحور α – ويمكن أن تدور السلاسل إلى حد ما وتتذبذب . وتكون تعبئة السلاسل في الشكل B أكثر إحكاماً .

لا يمكن أن تحدث انتقالات أخرى وهذا يعني أن التحور – α للستيرات الثلاثية النقية يمكن فقط أن يتكون بعد التبريد لأقل من 55 درجة مئوية ، يؤدي التسخين لدرجة 60° درجة مئوية إلى انصهار البلورات α ولكن بعد فترة يمكن للبلورات β^{-} أو β أن تتكون . والتي تنصهر عند درجة حرارة أعلى . مثل نقط الانصهار المزدوجة يمكن أن تشاهد أيضاً في دهن اللبن بعد التبريد الشديد السريع والتسخين السريع المتتابع .

جدول 10.2 خواص بعض تحورات تعدد الشكل للستيرات الثلاثية

Table 2.10 Properties of Some Polymorphic Modifications of Tristearate

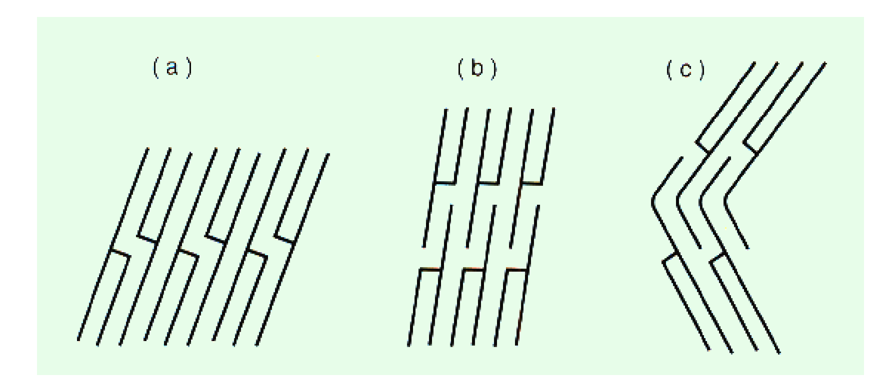
تعدد الشكل Polymorph		α	β^{-}	β
نقطة الانصهار Melting point	درجة مئوية (°C)	55	63	73
حرارة الانصهار Melting heat	كيلوجول/مول (kJ/mol)	110	150	189
الامتداد الانصهاري[a] Melting dilatation[a]	ميليلتر/كيلوجرام (ml/kg)	119	147	167

a الزيادة في الحجم لكل واحدة كتلة عندما تنصهر البلورة

a. Increase in volume per unit mass upon melting of the crystals.

في حدود تعبئة سـلسـلة معينة ، أي $-\beta'$ و $-\alpha$ ، أو $-\beta$ تعدد الشـكل ، تكون طرق تعبئة مختلفة لجزئيات الجليسـريدات الثلاثية ممكنة . تم تمثيل الأنواع الأسـاسـية في شـكل 17.2 . يمكن نسـج الطبقات الجزيئية في مرتين أو ثلاث مرات طول متبقي الحامض الدهني ، واللذان يمثلان L_3, L_2 على الترتيب . يمكن التعرف على هذه الأنواع من التعبئة بواسطة الأشعة X . يحدث النوع L_2 إذا كانت 3 بقايا حامض دهني مشبعة وذات أطوال متسـاوية (شـكل 17.2 *a*) يحدث النوع L_3 إذا كانت واحدة من السـلاسـل مختلفة عن السـلاسـل الأخرى في طول السـلسـلة (شـكل 17.2 *b*) مثل الحامض كابريك أو تكون لها رابطة مزدوجة (شـكل 17.2 *c*) مثل حامض الأوليك ***Oleic acid*** إن تكوين النواة عادة ما يحدث في التعديل α . بعد فترة وجيزة ، يحدث الانتقال إلى تعديل أكثر ثباتاً في دهن اللبن الذي بدأ في التبلور ، يمكن ملاحظة أن التسـخين في البداية يسـبب انصـهاراً ، ويتبعه تصـلب ثانٍ (في تعديل ثابت) وعادة ما يحدث انصـهار . في أغلب الحقائق ، التعديل α له عمر قصـير جداً ، يمكن أن يظل بينما B^- له مدة أطول في دهن اللبن ، البلورات α تسـتطيع أن تكون أكثر مثابرة (وذلك لتكون البلورات المركبة) وخاصة عند درجة حرارة منخفضة كلاً من التعديل α و $-\beta$ يوجدان . نقط الانصهار النهائية في دهن اللبن هي تقريباً 22 , 30 , 36 درجة مئوية لـ $\alpha, -\beta, \beta$ على الترتيب . وبمعنى آخر لا توجد في دهن اللبن أية بلورات من التعديل α فوق 20 درجة مئوية ولا بلورات β^- فوق 30 درجة مئوية .

أهمية تعدد الشـكل هو أن الدهن المتبلور جزئياً لا يكون أبداً في حالة تعادل ، يجب أن نتوقع دائما حدوث إعادة ترتيب مكونات البلورة ، وخاصة عند درجات حرارة عالية نوعاً ما وأثناء تقلبات الحرارة .



شكل 17.2 **طرق تعبئة مختلفة لجزيئات الجليسريدات الثلاثية في البلورة**

Figure 2.17 **Various packing modes of triglyceride molecules in a crystal. See text**

5.5.3.2 البلورات المركبة *Compound Crystals*

يمكن أن يحدث مكونان مختلفان أو أكثر معاً في بلورة واحدة ، يمكن للمكونات أن تحدث بجميع النسب (في المحاليل المسماة بالصلبة) في بعض هذه المكونات أو البلورات المختلطة وفي بعضها يكون المجال التركيبي محدوداً ، في الدهون البلورات المركبة جاهزة الوجود .

يحتوي دهن اللبن على بلورات مركبة كثيرة نتيجة للعدد الكبير من جزيئات الجليسريدات الثلاثية المحددة بالرغم من تشابهها . فوق التشبع الكامل بالنسبة للجزيئات التي تستطيع تكوين بلورة مركبة هو أعلى مما هو موجود في جزيئات الجليسريدات الثلاثية المفردة كل على حدة . تتكون البلورات المركبة بسهولة وبوفرة في التعديل α وليس في التعديل *B* . في البلورة *B* ، تكون تعبئة الجزيئات كثيفة لدرجة أن الأنواع المختلفة من الجزيئات لا تستطيع أن تأخذ الوضع الملائم في نفس الشبكة البلورية ، يسبب تبريد الدهن بسرعة لدرجة حرارة منخفضة تكون كثير من البلورات المركبة التي تكون غير نقية ، أي بلورات أقل ترتيباً ، وطبقاً لذلك تكون لها حرارة انصهار أقل من البلورات النقية المتناظرة . بالرغم من أن البلورات المركبة تتكون في العادة في التوازن الديناميكي الحراري ، حيث أن أي اختلاف بسيط في درجة الحرارة يسبب اختلافاً في المكونات الثابتة . وبالإضافة إلى ذلك تتكون بلورات الجلسريدات الثلاثية

المركبة خاصــــة في التعديلات عديدة الأشـــكال غير الثابتة . يعني كل ذلك من الناحية العلمية أن التوازن الحقيقي لا يمكن الوصـــول إليه أبداً (ماعدا عند درجات حرارة أعلى من نقطة انصــــهار B^{-} النهـائيـة) وأن الانتقـالات عـديـدة الأشـــكـال والتغيرات في مكونـات البلورات تحـدث في الحال .

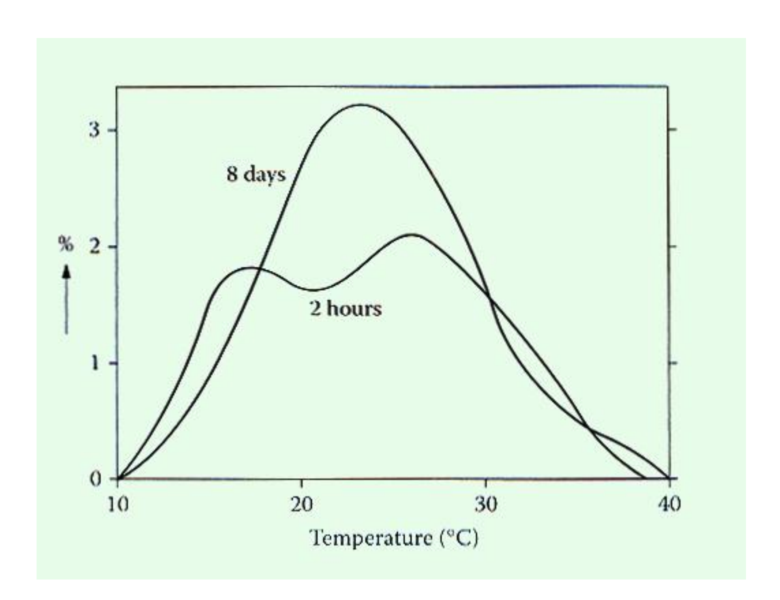
نظرية البلورات المركبة معقدة للغاية ولا مجال لمناقشــــتها هنا . وســـوف نعطي هنا بعض النتائج الهامة للبلورة المركبة والتي تلاحظ أيضاً في الممارسة العملية الفعلية .

1. البلورات المركبة تضيق مدى الانصهار .
2. يعتمد مدى الانصـهار الذي تنصهر عنده أغلب الدهون على درجة الحرارة التي عندها تحدث عملية التصــلب *Solidification* ولقد وجد أنها أعلى بقليل من هذه الدرجة . تعطي عملية تصــلب متتابعة عند درجتي حرارة منحنى انصــهار تفاضـلي له درجتا انصــهار قصـوى (انظر شكل 18.2) .
3. يعطي التبريد على خطوات والتبريد البطيء دهناً صـلباً أقل من التبريد السـريع والتبريد المباشـر إلى درجة الحرارة النهائية . قارن منحنى 2,1 في الشكل 14.2 .
4. يعطي التبريد إلى درجة حرارة منخفضة قبل الوصول إلى درجة الحرارة النهائية دهناً صلباً أكبر من التبريد المباشـر إلى الدرجة النهائية . وهذا موضـح في اضـطرابات الهستيريا التي تحدث عند درجات الحرارة المنخفضة في شكل 15.2 *A* .
5. تحدث أثناء الحفظ تعديلات بطيئة للتكوين البلوري طالما لم يكن الاتزان قد تم الوصــــول إليه . تحت درجة 5 مئوية تكون هناك عملية بطيئة جداً ، في درجات حرارة عالية تســــتطيع أن تستمر أياماً (انظر شكل 18.2) .
6. بعد التغير في درجة الحرارة أيضـاً عملية البلورة قد تحدث قبل الوصـول إلى حالة الاتزان بوقت طويل بعد تخفيض درجة الحرارة ، يمكن أن تزيد كمية الدهن الصــــلب في خلال عدة أيام ، بعد زيادة درجة الحرارة إلى تحت نقطة الانصـهار النهائية ، يمكن أن تأخذ نصـف سـاعة قبل أن يقف الانصهار .

خلاصـــة القول يظهر أن لتاريخ درجة حرارة الدهن تأثيراً معنوياً على كمية ومكونات وثبات بلورات الدهن . بالإضـــافة إلى ذلك لا يكون نظام مثل دهن لبن متبلور جزئياً متعادلاً أبداً .

6.5.3.2 حجم وشكل البلورات *Size and shape of crystals*

يجب أن يتم التعرف على الشكل الهندسي للبلورة من التعديلات التي سبق ذكرها ، يمكن أن يشمل كل تعديل سلوكاً متغيراً واسعاً .



شكل 18.2 منحنيات الانصهار النوعية (معبراً عنها كنسب الدهن المنصهر لكل زيادة درجة حرارة) لدهن اللبن في عينة القشدة حفظت لمدة يوم عند درجة حرارة 19 مئوية ، ثم بعد ذلك عند 10 درجات مئوية لمدة ساعتين أو ثمانية أيام

Figure 2.18 Differential melting curves (expressed as percentage of the fat melting per °C temperature increase) of the milk fat in a cream sample. The cream was held for 1 d at 19°C and then at 10°C for 2 h or 8 d. (From results in H. Mulder and P. Walstra The Milk Fat Globule, Pudoc, Wageningen, 1974)

في أغلب الحالات ، يؤدي التبريد السريع لدهن اللبن إلى تكوين صفيحات ، نسبة حجم الصفيحة حوالي 4 : 2 : 1 ، طول الصفيحة =0.1-3 ميكرومتر ، يمكن أن يكون تركيز الصفيحة 10^{12} لكل جرام من الدهن ، وقبل كل شيء كلما بطئ التبريد ، كلما كانت البلورات أقل تكوناً وأكبر حجماً ، وبالإضافة إلى ذلك وكلما كانت الأنوية الثانوية المذكورة عالية فإن ذلك يسبب دائماً تكون بلورات صغيرة الحجم كثيرة ، إلا إذا كان هناك تبريد فائق قليل . التغيرات البطيئة التي ذكرت سابقاً (الانتقال متعدد الأشكال والتغير في البلورات المركبة) يمكن أن يسبب التذبذب في درجات الحرارة نمو البلورات الأكبر على حساب البلورات الصغيرة . يمكن أن تتكون الكريات الكبيرة (كرات تبنى من أبر شعاعية) حتى مليمتر واحد في القطر عند التبريد الفائق القليل *Small super cooling* .

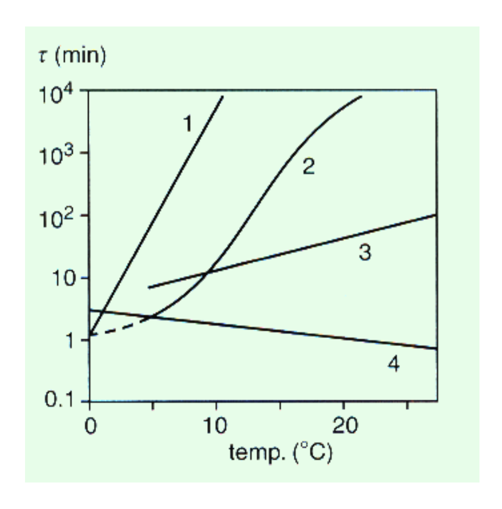
تميل بلورات دهن اللبن إلى أن تكون صغيرة ، أطول عادة ما تكون المقاييس أصغر من 1 ميكروميتر . شكل 19.2 يوضح أن عند درجات حرارة فوق 10 درجات مئوية ، الوقت المميز لتكوين النواة (منحنى 2) يكون أطول من وقت نمو البلورة (منحنى 3) وهذا يعني أن بلورات قليلة سوف تتكون والتي سوف تصبح كبيرة ، ومع ذلك يكون عدد البلورات المتكونة كبيراً (عدة بلورات لكل ميكرومتر^3 من الدهن) مع افتراض أن البلورات تظل صغيرة وذلك لأن النواة الثانوية تميل للتكوين الغزير عند فوق تشبع منخفض ومتوسط ودرجات حرارة فوق 25 درجة مئوية تتكون بلورات كبيرة في كريات دهن ، اللبن تبلور الدهن سوف يحدث فوق 25 درجة مئوية . انظر شكل 16.2 وعلى ذلك تكون البلورات في كريات الدهن دائماً صغيرة . في حجم ضخم من الدهن ، يسبب التذبذب البطيء لدرجة الحرارة إعادة التبلور عند تشبع فائق منخفض ، والذي يمكن أن يؤدي إلى تكوين بلورات كبيرة (إلى 100 ميكرومتر) .

يجب أن يتم التعرف على شكل البلورة من التحورات المتعددة الشكل التي تم مناقشتها . يمكن أن تتكون داخل كل تحور متعدد أشكال مختلفة في دهن اللبن ، تسود صفيحات طويلة وأسطوانية ، نسبة الطول : العرض : السمك هي حوالي 1:10:50 . البلورات

الكبيرة تتكون عند تشـــبع فائق منخفض وتميل إلى تكون كريات مبنية من إبر متفرعة بشـــكل شعاعي .

7.5.3.2 شبكات البلورة* *Crystal Net works*

تجذب بلورات الدهن المعلقة في الزيت بعضـــها بســـبب قوى فاذندرفالز *Van der Waals forces* وتطرد البعض الآخر بســـبب تنافر اللب الصـــلب (أي عندما تتلامس) . وطبقاً لذلك دائماً ما تتلبد البلورات ويسبب ذلك تكوين شبكة بلورية مستمرة ، يكون فيها الزيت



شـــكل 19.2 الأوقات المميزة (1) تكوين نوية متجانســـة وغير متجانســـة (2) نمو البلورة (3) الوقت اللازم للبلورة لكي تتجمع (4) كدالة عن درجة الحرارة (مع افتراض تبريد سريع جداً عن هذه الدرجة) نتائج تقريبية لدهن اللبن يقصد توضيح الاتجاه

Figure 2.19 Characteristic times (τ) for homogeneous (curve 1) and heterogeneous nucleation (2), crystal growth (3), and for the crystals to aggregate (4), as a function of temperature (assuming very fast cooling to that temperature). Approximate results for milk fat; meant to illustrate trends

* ينصح القارئ أن يرجع إلى الجزء 1.3

محمولاً إذا وجد بصـــورة كافية (نســـبة قليلة بالوزن) . تجعل الشـــبكة للدهن صـــلابة معينة والتي تزداد بزيادة أجزاء من الدهن الصـلب ، وتعتمد أيضـاً على حجم وشـكل البلورات بالإضـافة إلى ذلـك يمكن أن يحـدث إعـادة توزيع مكونـات البلورة لأن الطور البلوري لا يكون في حـالـة تعادل ، لذلك ســـوف تنمو البلورات في مكانها وبهذه الطريقة ، يمكن أن تلتحم البلورات المتلبدة أي تصـبح متلبدة ، تم توضـيح كل هذه التغيرات في شـكل 20.2 ، التذبذبات الحرارية (عند أول جزء من الدهن بواسطة التسخين ، ثم تتبلور ببطء بواسطة التبريد) يمكن أيضاً أن يحدث تلبد معتبر وعلى هذا يصـــبح الدهن أكثر صـــلابة بســـبب الروابط بين العناصـــر الأصـــلية للشـــبكة التي تقوى إلى حد بعيد التشـــوه القوي (مثل قوة ضـــغط قدرها 10 MPa) يمكن أن يســـبب طفو الدهن والروابط المسئولة عن التلبد أن تتكسـر في المكان ونتيجة لذلك تقل درجة صـلابة الدهن ، بعـد حفظ الـدهن لبعض الوقـت تتكون روابط قويـة مرة أخرى ، وبـذلـك يســـترجع جزء من الـدهن الـذي فقـد صـــلابته قوته مرة أخرى . وبمعنى آخر يكون الـدهن أقل أو أكثر نشـــاطاً *Thixotropic* .

تكون الجوانب الريولوجية أكثر أهمية لصـــلابة وانتشـــارية الزبدة ، يكون أغلب الدهن في الزبدة في شـكل كتل مسـتمرة ويسـتطيع أن يكون شـبكة دائمة . يسـترجع الدهن في القشـدة في شـكل كريات منفردة . وطالما لم يحدث شـيء فإن شـبكة بلورية يمكن أن تتكون في كل كرية من كريات القشـــدة ، ولكن ليس من خلال حجم القشـــدة . ولأجل هذا فإن لدهن اللبن والزبدة صلابة خاصة ، بينما تكون القشدة عالية الدهن سائلة .

8.5.3.2 ملخص *Summary*

جدول 13.2 يلخص تأثير هذه العوامل على عملية البلورة ، وبالطبع مكونات الدهن لها أيضاً تأثير هام .

جدول 11.2 ملخص للعوامل المؤثرة على عملية البلورة في دهن اللبن

Table 2.11 Summary of Factors Affecting Crystallization of Milk Fat

Effect on التأثير على			
Crystal habit سلوك البلورة	Amount of solid fat كمية الدهن الصلب	Melting curve منحنى الانصهار	Factor العامل
Smaller[3] أصغر	Greater أكبر	Maximum at lower temperature	Lower crystallization temperature درجة حرارة التبلور منخفضة
Smaller[3] أصغر	عادة أكبر Generally greater	Maximum at higher temperature	Faster cooling تبريد سريع
عادة كريات أكبر Often larger spherulites[3]	عادة أقل Generally less	له أكثر من قيمة أعلى More than one maximum	Cooling in steps تبريد في خطوات
أصغر شيئاً ما Somewhat smaller[3]	أكبر Greater	Maximum at lower tempreature	Precooling to low temperature تبريد سابق لدرجة حرارة منخفضة
تراكيب صلبة ، أكبر Larger	عادة أكبر Generally greater	مبططة Flatter	Keeping at not too low a temperature الحفظ في درجة حرارة ليست منخفضة جداً
أصغر Smaller	درجة حرارة منخفضة ؛ أعلى بكثير Low temperature greater High temperature less	Higher final melting temperature	دهن في كريات عن دهن متكتل Fat in globules rather than in bulk
أصغر Smaller	عادة أقل Generally less		Smaller globules كريات صغيرة

a. توصف كمنحنى تفاضلي $\frac{d\ \text{الدهن الصلب}}{dT}$ كدالة لدرجة الحرارة T أي كمية الدهن الذي ينصهر في فترة زمنية قصيرة .

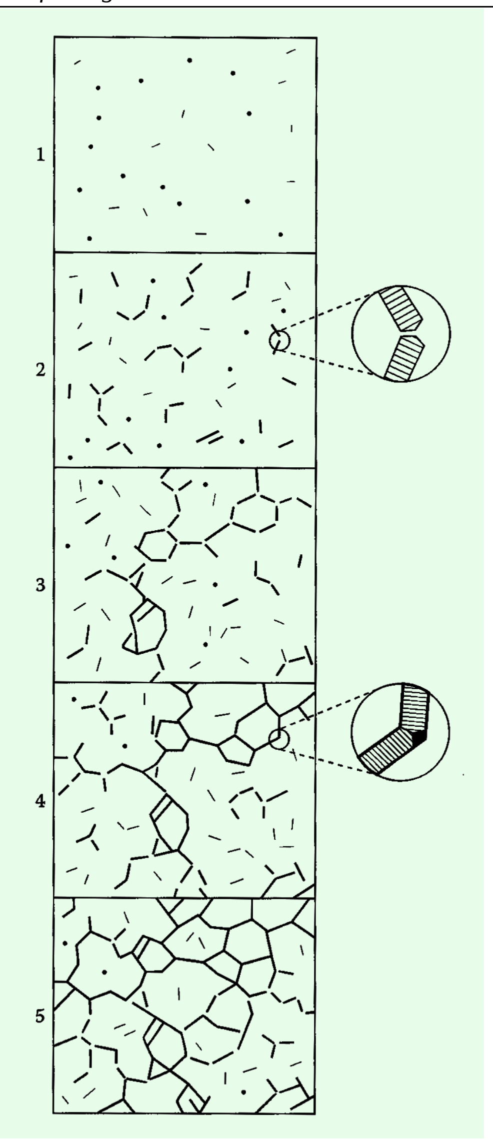
b. يسبب التغير في المكونات بين كريات الدهن .

c. هذه لا تطبق على الدهن في الكريات .

a. Described as differential curve-disolid fat/d T. as a function of T. i.e. the amount of fat that melts within a small temperature interval.

b. Because of variation in composition among fat globules.

c. This does not apply to fat in globules.



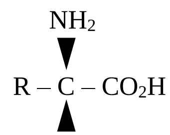
شكل 20.2 أطوار مختلفة أثناء عملية البلورة تظهر عملية الندف (الندفة) واللبيدة في بلورة الدهن ، رسم توضيحي مكبر

Figure 2.20 Various stages in the formation of a fat crystal network. Approximate scale: the edge of a frame would be some micrometers. Se text. (From P. Walstra, Physical Chemistry of Foods, Dekker, New York, 2003. With permission)

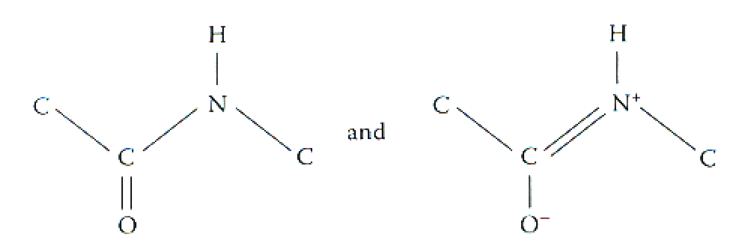
4.2 البروتينات **Proteins**

1.4.2 كيمياء البروتينات ***Chemistry of Proteins***

تتكون البروتينات من أحماض أمينية وأكثر دقة $L-\alpha$ حامض أمينوكربوكسيلي .



عند الأس الهيدروجيني المتعادل تتأين الأحماض لتكون $R-CH(NH_3^+).Co_2^-$ ولذلك تسمى الأيون الهجين (أيون ذو شـــحنتين موجبة وســـالبة) *Zwitter ion* حيث يكون حامض وقاعدة في نفس الوقت ، يمكن أن تتفاعل مجموعة أمين ومجموعة كربوكســـيل مع بعضـــها لكي تتكون رابطة ببتيدية *Peptide Linkage* بينما ينطلق جزيء ماء يكون تركيب الرابطة الببتيدية متوسطاً .



ولهذا ، فالرابطة الببتيدية وضـــع ثنائي القطبية ومســـتوية التماثل وصـــلبة ، أي تبقى في الشـــكل الفراغي *trans* . الـدوران ممكن إلى حـد مـا حول الروابط الأخرى في الســـلســـلـة الببتيدية ($CR-Co, N-CR$ شـــكل 21.2) ما عدا للرابطة $N-CR$ في بقايا الحامض الأميني برولين .

يمكن أن تتكون الســلســلة الببتيدية الخطية من عدد من الأحماض الأمينية ، كما ترى في شكل 21.2 . إذا كانت هذه السلسلة قصيرة فتسمى ببتيدية ، وإذا كانت طويلة فتسمى عديد الببتيد أو بروتين . تحتوي أغلب البروتينات على الأقل 100 بقايا حامض أميني . هناك 20

حامض أميني مختلف طبيعي ، و 20 نوعاً مختلفاً من السلسلة جانبية *R* . بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تحدث تحورات مجموعات السـلسـلة الجانبية . خواص الأحماض الأمينية تم سـردها في جدول 12.2 .

1.1.4.2 التركيب الأولي ***Primary Structure***

يعرف التركيب الأولي بأنه تتابع بقايا أحماض أمينية مختلفة في السـلسـلة الببتيدية وهي خاصة لكل بروتين منفرد ويتم تحديده جينياً . تحدث تغيرات جينية لمعظم البروتينات ، أي أن بقايا حامض أميني أو حامضـين في موقع معين في السـلسـلة تختلف . بعض من هذه التغيرات يمكن إدراكه بصعوبة ، ولكن يسبب في حالات أخرى اختلافات معنوية في خواص البروتين في الذوبان أو الثبات الحراري .

تتحدد الخواص النوعية للبروتين بواسـطة السـلاسـل الجانبية *R* للأحماض الأمينية في السلسلة عديدة الببتيد (جدول 12.2) تكون السلاسل الجانبية غير القطبية الأليفاتية صعبة التفاعل . السلاسل الجانبية التي بها مجموعة كاربوكسيلية (حامض الأسبرتيك وجلوتامك) أو مجموعة أمين (ليسين ، أرجنين) متأينة عند أس هيدروجيني متعادل لتعطي $-NH_3^+, Co_2^-$ على الترتيب ، وكذلك تفعل مجموعات الأمين والكروبكسـيل مجموعة الكربوكسـيل الحرة يمكن أن تكون إسـتر . يمكن أن تقوم مجاميع الأمين الحرة خاصـة الموجودة في الليسـين بتفاعلات ميلارد *Maillard reactions* (تحت جزء 3.2.7) . يمكن أن يتفاعل السيستين *Cysteine* مباشرة مع بقايا سـيستين آخر لكي يكون السـيسـتين *Cystine* . وبذلك يكون رابطة تساهمية (الرابطة $-S-S-$) بين السلسلتين الببتيدية (رابطة بينجزيئية *inter molecular*) . هذا التفاعل يحدث بشكل أسرع عند أس هيدروجيني عالي ، وعندها يتحلل عدد كبير من مجموعات الكبريت المهدرجة $-SH$ إلى $-S^- + H^+$. مجموعة الكربوكسـيل الحرة الموجودة في السـيرين *Ser* والسريونين *Thr* ويمكن أن تكون الأحماض مثل حامض الفوسفوريك إستر ، تسمى البروتينات التي بها مجموعات فوسـفات إسـتر البروتينات المفسـفرة *Phosphoproteins* . بالإضـافة إلى ذلك ، يمكن أن ترتبط السكريات بمجموعة هيدروكسيل أو مجموعة أمين لكي تعطي جليكوبروتين

Glycoproteins . الكروموبروتينات *Chromoproteins* تحتوي على معادن ثقيلة مثل الحديد أو الموليبدنم *Mo* ، تنتمي إنزيمات عديدة إلى هذه المجموعة . تؤثر جميع هذه الوحدات البنائية على خواص البروتين .

شكل 21.2 **السلسلة البتيدية**

Figure 2.21 **Peptide chain**

تحورات بعد الترجمة *Posttranslational Modifications*

تؤدي الشفرة الوراثية للبروتين إلى تتابع من أحماض أمينية . إلا أن عدة بروتينات في الخلية يتم بها تغيرات في تكوينها بعد تكوين التركيب الأولي *Primary structure* . تسـمى هذه التغيرات تحورات بعد الترجمة ، تتكون في كثير من البروتينات الكروية روابط كبريتية *-S-S–* بين بقايا حامضين من السيستيين *Cysteine residues* تشمل تحورات أخرى عملية فسفرة بواسطة فسفرة حامض الفوسـفوريك إلى مجموعات هيدروكسـيلية للسـيرين *Ser* أو الثريونين *Thr* وهذا يكون فسـفوبروتينات *Phosphoporteins* . أنواع مختلفة من المجموعات السـكرية يمكن أن تربط بمجموعات هيدروكسـيل أو أميد *Amide group* وتعطي جليكوبروتينات *Glycoproteins* . يمكن أن تؤدي هذه التحورات إلى اختلافات في التكوين داخل نوع واحد من البروتين .

يمكن أن تحدث نفس التفاعلات بعد أن يفرز البروتين من الخلية . تكون البروتينات في محلول عرضـة لتكوين أو تعديل رابطة كبريتية *-S-S* (أي كسـر رابطة *-S-S-* وتكوين رابطة جديدة مع بقايا سـيسـتين آخر) وخاصـة عند أس هيدروجيني مرتفع أو درجة حرارة مرتفعة . أسـترة يمكن أن تحدث المجموعات الهيدروكسـيلية أيضـاً (انظر تحت

جزء 2.2.7) . يمكن أن يحدث بالإضافة إلى ذلك كسر للسلسلة الببتيدية بواسطة عمل الإنزيمات المحللة للبروتين .

تغيرات جينية **Genetic Variants**

توجد أغلب البروتينات في متغيرين أو أكثر من التركيب الأولي والذي يحدد جينياً ، المتغيرات يرمز لها عادة بالرموز *A* و *B* و *C* ... الخ إذا كان الكائن مثل البقرة متشابه اللاقحة *Homozygous* للمتغير *A* وطرزه الجيني *AA* وتنتج المتغير *A* فقط ، الكائن يمكن أيضاً أن يكون غير متشابه اللاقحة *Heterozygous* ويكون طرزه الجيني *AB* وعلى ذلك ينتج المتغيران *A* و *B* عادة في كميات متساوية ، في أغلب الحالات متغيران يختلفان في بقايا حامض أميني واحد ، يؤدي وهذا عادة إلى اختلاف معنوي في خواص البروتين ، في حالات أخرى خاصة عندما يختلف المتغيران في الشحنة ، يمكن أن توجد اختلافات واضحة في الخواص ، مثل الذوبانية والشكل وثبات الشكل *Conformational stability* . إذا كان البروتين إنزيماً فإن نشاطه الحفزي يمكن أن يختلف بين المتغيرات .

لكل بروتينات اللبن الأساسية ، ولإنزيمات عديدة أيضاً تم التعرف على المتغيرات الجينية يقدم الجدول 22.2 بعض الأمثلة . يعتمد تذبذب وجود المتغيرات على السلالة .

2.1.4.2 الترتيبات التركيبية **Conformation**

يمكن أن تتكون روابط بين جزيئات عديدة في جزيء البروتين ، هذا يخص الروابط أحادية التساهم للنوعين الأساسين ، يمكن تتكون الروابط الهيدروجينية بين المجموعات المعطية للهيدروجين (خاصة $=NH,-OH$) والمجموعات المستقبلة للهيدروجين (خاصة $=N-,-O-,=O$) تحدث التجاذبات الكارهة للماء بين مجموعات الجانب الكاره للماء المبينة في الجدول 12.2 ، تكون الروابط الأخيرة ضعيفة أو غائبة عند صفر درجة مئوية ، وتزداد قوتها بزيادة درجة الحرارة .

ويمكن أن تؤدي الروابط الهيدروجينية إلى تكوين أنواع خاصة من التركيب الثانوي ، ويعتمد حدوث ذلك على التركيب الأولي للبروتين ، فمثلاً يكون تكوينها معتمداً على وجود بقايا

الحامض الأميني برولين . الأنواع الرئيسية هي الحلزون $-\alpha$ والشريط $-\beta$. تشمل هذه العناصر التركيبية 20 حامضاً أمينياً يكون شريط $-\beta$ وحيد غير ثابت ولكن عدداً يمكن أن تكون من الشرائط (بواسطة روابط هيدروجينية) ساقاً ثابتاً يسمى الشريط $-\beta$.

يكون ارتباط البروتين مع الدهون ما يعرف بالبروتينات الدهنية ***lipoproteins*** وتكون مجموعة مختلفة وتختص عادة الروابط غير التساهمية والنسبة المولارية بين البروتين والدهن تكون متغيرة. يمكن أن تزال معظم الدهون الناتجة بواسطة الاستخلاص بسوائل غير قطبية .

اعتماداً على التركيب الأولي روابط عديدة تشمل الروابط الهيدروجينية ، يمكن أن تتكون التفاعلات المحبة للماء ، وجود الأملاح الداخلية بين أجزاء عديد من السلسلة الببتيدية المرنة الطويلة ، التي يمكن أن تطوى بشكل خاص للبروتين المتكون مكانياً ، يمكن أن تتكون ترتيبات منتظمة . أمثلة على ذلك هي الألفا حلزون α – ***helix*** والصفائح β – ***sheets B*** التي تبنى من عدد من شرائط تشبه الخطوط المتعرجة ، تسمى جميع هذه الترتيبات المتطابقة التركيب الثانوي ، وتشمل زيادة الترتيب المجسم للسلسلة الببتيدية الأجزاء ذات التركيب الثنائي تسمى التركيب الثالثي .

يمكن أن يتميّه بعض مجاميع البروتين خاصة المجموعات المشحونة والروابط الببتيدية ، ولذلك تربط البروتينات بعض الماء ، وعادة 10-20 جرام لكل 100 جرام من البروتين ، يجب أن تميز هذه الخاصية عند قدرة بعض البروتينات (مثل الجيلاتين) على الانتفاخ في الماء، تسبب مسك كميات كبيرة من الماء أو تجميدها في شبكة السلاسل الببتيدية .

يحدد ارتباط ضعيف للقوى التكوين النهائي لسلسلة عدد الببتيد ، معدل طرد الماء ***hydrophobicity*** ϕ (معدل كل بقايا الحمض الأميني الموجود) له أهمية كبرى . (لكي نكون متأكدين لا يوجد اتفاق للرأي على قيمة رد الماء ϕ من جانب بقايا الحمض الأميني) إذا كان هناك بقايا كارهة للماء كافية ، يحدث عادة انطواء للسلسلة داخل وحدات شبه كروية (تسمى البروتين الكروي) وفي هذه الحالة يتكون لب كاره للماء ***hydrophobic cor*** في هذا اللب يمكن أن توجد روابط هيدروجينية والتي تؤدي إلى تراكيب منتظمة (تركيب ثنائي ***Secondary***) مثل

الحلزون ألفا . مثل هذه التراكيب عادة ما تحتل فقط نســبة محددة من البروتين ، تمنع بقايا البرولين تكون الحلزون ألفا . أغلب خارج جزئ البروتين يكون محباً للماء بدرجة بسـيطة ، وتمسـك أغلب المجموعات المشـحونة . كل هذه التعبيرات ليســت مطلقة لأن التركيب الأولي لا يســمح بتكوين ترتيب "مثالي" للبروتين . أي مع كل السـلاسـل الجانبية غير المشـحونة في الداخل وجميع المجاميع القطبية في الخارج وبمعنى آخر ، يمكن أن توجد الشحنات المحمية في الداخل والرقع الكاره للماء في الخارج .

إذا كان معدل الكراهية للماء صــغيراً أو جزءاً البروتين صــغير ، فيتكون شــد طويل للسلاسل (بروتين خيطي *fibrous protein*) بدلاً من وحدات كروية .

الظروف البيئية وتشـمل درجة الحرارة والأس الهيدروجيني والقوة الأيونية يمكن أن تؤثر على ترتيب البروتين . في بعض الحالات تغير صغير في الظروف يكون له تأثير كبير مثل (أ) قدرة مجاميع معينة من البروتين على التفاعل مع المادة المذابة ، (ب) تحلل المجاميع المتأينة ، (ج) المدى الذي تصـبح فيه منابت يمكن وصـول إنزيمات معينة إليها ، ومن المهم أن نلاحظ أن الإنزيم نفســه هو جزئ بروتيني وأن تأثيره يعتمد على بنيته التركيبية .

3.1.4.2 مسخ البروتين (الدنترة) *Denaturation*

الترتيبــات التركيبيــة للبروتين الكروي يتم ثبــات بواســـطــة عــدد كبير من الروابط الضـعيفة . إذا لم تكن السـلسـلة الببتيدية مطوية ، فإن أنتروبيا الترتيبات التركيبية تزداد بشـكل كبير ومجموعات عديدة وخاصــة للروابط الببتيدية تصــبح متميهة . هذه العوامل تنتج كمية كبيرة من الطاقة الحرة وتسبب الطاقة الحرة الكلية للروابط ترتيبات تركيبية مضغوطة ، تكون أكبر إلى حد ما. وبمعنى آخر تكون ثباتية الترتيبات التركيبية صــغيرة ، يمكن أن تؤدي تغيرات طفيفة في الظروف المحيطة إلى النظام غير المطوي (المفتوح) ويسـمى مسـخاً بروتينياً (الدنترة) *Denaturation* . وهي تحول البروتين الكروي الطبيعي إلى بروتين غير منظم ممسوخ .

جدول 12.2 خواص بقايا الأحماض الأمينية **Table 2.12** Properties of Amino Acid Residues

Φ^2	الشحنة عند الأس الهيدروجيني 6.6 Charge at pH 6.6	pK[1]	المجموعة المتحدة Reactive group	سلسلة جانبية Side chain	الرمز Symbol	اسم الحامض Name of acid
0				-H	Gly	Glycine
3				$-CH_3$	Ala	Alanine
10				$-CH(CH_3)CH_3$	Val	Valine
12				$-CH_2CH(CH)CH_3$	Leu	Leucine
12				$-CH(CH_3)CH_2CH_3$	Ile	Isoleucine
-			Hydroxyl	$-CH_2OH$	Ser	Serine
-			Hydroxyl	$-CHOHCH_3$	Thr	Threonine
	-1	4.0	Carboxyl	$-CH_2CO_2$	Asp	Aspartic acid
-			Amide	$-CH_2CONH_2$	Asn	Asparagine
	-1	4.5	Carboxyl	$-CH_2CH_2CO_2$	Glu	Glutamic acid
-			Amide	$CH_2CH_2CONH_2$	Gln	Glutamine
-	+1	10.6	ϵ-Amide	$-(CH_2)_4NH^+_3$	Lys	Lysine
-	+1	12.0	Guanidine	$-(CH_2)N_3HC(NH_2)_2^+$	Arg	Arginine
?	0	8.5	Thiol	$-CH_2SH$	Cys	Cysteine
?			Thioether	$-CH_2CH_2SCH_3$	Met	Methionine
9			Phenyl	$-CH_2-$	Phe	Phenylalanine
?	0	10	Phenol	$-CH_2-$ $-OH$	Tyr	Tyrosine
10			Indole	$-CH_2$ N H	Trp	Tryptophan
-	+1/2	6.4	Imidazole	$-CH_2$ HN NH^+	His	Histidine
?				(Note[1])	Pro	Proline
-	-1	1.5,6.5	Phosphoric acid	$-CH_2O-PO_3^{2-}$	Serp	Phosphoserine
	-1	3.6	α-Carboxyl	$-CO_2^-$	-	Terminal groups
	+1	7.6	α-Amino	$-NH_3^+$	-	

1. ثابت التأين الداخلي التقريبي في السلاسل الببتيدية غير المطوية .
2. الكره للماء بـ *kj* لكل متبقي (– ، القيمة صغيرة أو سالبة ، ؟ القيمة غير مؤكدة) .
3. حامض أميني ثانوي :

1 Approximate intrinsic ionization constant in unfolded peptide chains.
2 Hydrophobicity in kJ per residue (-=value small or negative;? = uncertain)
3Secondary amino acid: N H CO_2H

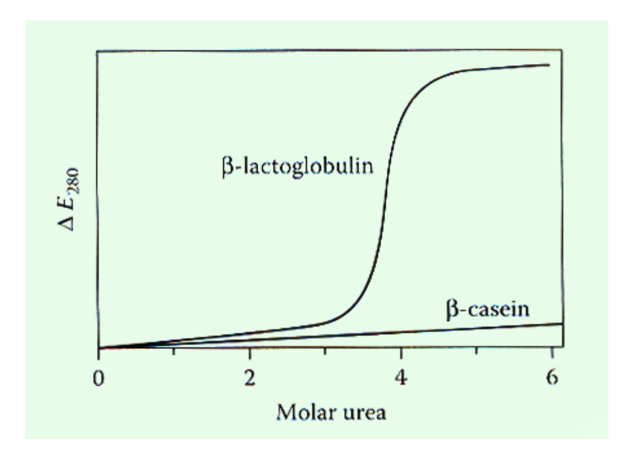
يمكن أن تسبب عوامل عديدة مسخاً للبروتين الكروي وسوف تذكر بعضها باختصار .

- تؤدي درجة الحرارة العالية إلى دنترة البروتين ، على الرغم من اختلاف الحرارة المطلوبة ، تقدر بقيمة 70 درجة مئوية .
- تسبب درجة الحرارة المنخفضة دنترة بعض البروتينات (الروابط الكارهة للماء تصبح ضعيفة أو حتى طاردة) يكون التبريد دائماً -20 درجة مئوية على الأقل ، وتكون الترتيبات التركيبية في أقصى درجة ثبات عند -25 درجة مئوية .
- الضغط العالي أي الضغط الهيدروستاتيكي فوق 2 كيلوبار ، يمكن أيضاً أن تسبب دنترة بكسر الروابط الهيدروجينية .
- يمكن أن يسبب أس هيدروجيني عالي مثل فوق 8 أو 9 دنترة البروتين (نتيجة للتنافر المتبادل بين المجموعات السالبة الشحنة (انظر شكل *a* 23.2) . مثل هذا الأس الهيدروجيني نادراً ما يستعمل في التطبيق العملي ، يمكن كذلك عند أس هيدروجيني منخفض للدنترة أن تحدث .
- تسبب كواشف عديدة مضافة إلى محلول البروتين بتركيزات عالية الدنترة ، غالباً بكسر الروابط الهيدروجينية ، ولكن هذه الكواشف لا تستخدم في تصنيع الألبان ، في المعمل تستخدم عادة اليوريا .
- يمكن أن يسبب عادة ، استخدام كاشفين معاً الدنترة ، فمثلاً تزداد درجة الحرارة المعتدلة وكذلك الحال بالنسبة للأس الهيدروجيني .

الدنترة عادة انتقال تعاوني ، ويعني هذا أن أغلب الروابط الضعيفة التي تسبب ثبات الترتيبات التركيبية الأصلية تتكسر في الحال . وعلى فرض تكسير عدد قليل من الروابط ، فإن ذلك يجعل

الترتيبات التركيبية غير ثابتة . وبالتالي تحدث الدنترة في مدى صغير لشدة العوامل المسببة للدنترة ، مثال تم ذكره في شـــكل 22.2 حيث اســـتخدمت اليوريا كعامل مســـبب للدنترة ، ويتضـــح أن الترتيبات التركيبية للبروتين الكروي B– لاكتوجلوبيلين تتغير بشدة في مدى ضيق من التركيز ، بينما للبروتين غير المرتب بيتا كازين فإنه يحدث تغير تدريجي صـــغير فقط . كذلك تحدث الدنترة بالحرارة في مدى حراري ضيق كما ذكر في الجزء 3.7 .

تؤدي الدنترة إلى فقد وظائف البروتين الأصـــلية ، فمثلاً للعمل كإنزيم ، وتصـــبح الدنترة عكســـية عندما نرجع الظروف إلى قيمتها الأصـــلية . بخفض درجة الحرارة ثانية ، يمكن للترتيبات التركيبية والنشـاط الوظيفي أن يعود ثانية . في التطبيق العملي لا تحدث هذه العودة لأن البروتين في حالته غير المطوية يكون أكثر نشـــاطاً ، ولذلك يمكن أن يحدث تغيير للروابط التســـاهمية التي تمنع رجوع الترتيبات التركيبية إلى حالتها الأصـــلية . ويمكن أن يحدث هذا عند درجات حرارة عالية (انظر تحت جزء 2.2.7 و 2.3.7) .



شكل 22.2 تغير الانطفاء الخاص عند 280 نانومتر ككاشف لعملية الدنترة بواسطة اليوريا

Figure 2.22 Change of the specific extinction at 280 mm as an indicator for denaturation by urea

4.1.4.2 الذوبان ***Solubility***

إن أغلب العوامل المؤثرة على الصبغ البنائية للبروتين تحدد أيضاً درجة ذوبانه . إذا كانت كمية الماء المتاحة أقل بالمقارنة بكمية البروتين الموجودة أو كانت جزيئات البروتين بها روابط عرضية قوية ، فإن البروتين لا يستطيع الذوبان ، إلا أنها يمكن أن تبدو منتفخة ، وتكون كمية الانتفاخ علاقة قوية بدرجة الإذابة ، كل البروتينات لها مجموعات مشحونة كهربياً (جدول 1.2.2) ، أغلبهم لديهم عدد أكبر من مجموعات سالبة عن الموجبة عند الأس الهيدروجيني المتعادل ، تسبب الشحنة تنافر الجزيئات عن بعضها البعض ، والتي يمكن أن تعزى إلى ثباتية محلول البروتين ، تعتمد الشحنة على الأس الهيدروجيني . عند الأس الهيدروجيني المتعادل الشحنات ويرمز له *PI* يكون مجموع الشحنات وعند هذا الأس الهيدروجيني كثير من البروتينات تكون غير ذائبة فعلياً . تكون الشحنة صفر النهائية سالبة عند أس هيدروجيني أكبر من *pI* ، وعندما يكون $pI < pH$ فإنها تكون موجبة ، يكون ذوبان البروتين متأثراً بقوة بالقوة الأيونية .

تحتاج بروتينات كثيرة كميات قليلة من الأملاح على الأقل للانحلال (*Salting-in*) ولكن عند تركيزات ملحية عالية تكون البروتينات أقل إذابة *Salting-out* . تسبب وجود الرقعات الكارهة للماء على السطح الخارجي تجاذبات كارهة للماء بين جزيئات البروتين . ولهذا السبب تظهر البروتينات الكرية دائماً توازناً بين تجمع وتحلل الجزيئات . وتبعاً لذلك فإن متوسط الكتلة المولارية الظاهرية لهذه البروتينات تعتمد بشدة على تركيزاتها . تميل جزيئات البروتين التي تحتوي على نقاط أو بقع كارهة للماء على سطحها أن تكون ضعيفة الذوبان .

وسوف يكون واضحاً أن درجة الحرارة والأس الهيدروجيني وتركيز الملح ، كلها عوامل تؤثر على ذوبان وتجمع وانتفاخ البروتين . تؤثر درجة الحرارة خاصة على التجاذبات الكارهة للماء *Hydrophobic interactions* والتي تكون ضعيفة في درجات حرارة منخفضة وتكون قوية عند درجات حرارة عالية .

يتضـــح من ذلك أن العوامل الثلاثة الرئيســـية المحددة لذوبان البروتين هي التجاذبات الكارهة للماء ، والتجاذبات الألكتروســـتاتيكية بين الجزيئات ، والكتلة المولارية . وعموماً ، تميل المادة ذات كتلة مولارية مرتفعة إلى أن تكون أقل ذوباناً . لا تترسب الجزيئات الصغيرة عادة عندما تتجاوز حدود الإذابة ، ولكن تكون طبقة ذات تركيز عالياً ***Coacervate*** ولكن ما تزال تحتوي على كمية من المذيب ، يمكن أن تكون داخل الجزيئات ، البروتينات بلورات عند التركيز الفائق ، ولكن هذا لا يحدث أبداً في العمليات التصنيعية . حيث يتكون شيء متوسط بين الراسب والطبقة ذات التركيز العالي ***Coacervate*** التي تحتوي على كمية من المذاب .

التجاذبات الإلكتروســـتاتيكية ***Electrostatic Interactions*** . لبروتينات الأملاح بالرغم من كونها ذات تكافؤ كبير ومتغير (Z) . التكافؤ دالة على الأس الهيدروجيني لأن الأخير يؤثر على تأين مجموعات جانبية عديدة (انظر جدول 12.2) . مثال لهذه العلاقة موجود في شكل 23.2 ***a*** والذي يمثل منحنى معايرة للبيتا لاكتوجلوبيلين ***B-lactoglobulin*** . تتغير هذه المنحنيات إلى حد ما مع القوة الأيونية الكلية ، يكون الأس الهيدروجيني ***pH*** الذي عنده متوسط قيمة Z الكلية تساوي صفر والذي يسمى نقطة تساوي الجهد الكهربي ***isoelectric point*** (***IEP***) على مقياس الأس الهيدروجيني ، في هذه الحالة يكون حوالي 5.1 (لأن الشحنة دائماً ما تتأرجح حول المتوسط) ، وعند تساوي الجهد الكهربي IEP بعض الجزيئات يكون لها شحنة سالبة صغيرة ، وجزيئات أخرى لها شحنة موجبة صغيرة. البروتينات عادة ما تختلف في ***IEP*** . تعتمد قيمة الأخير على القوة الأيونية كما هو موضح في الشكل 23.2 b بواسطة تأثير القوة الأيونية على الأس الهيدروجيني للذوبانية الأدنى .

لقد تم ذكر بعض النظريات الأساسية لذوبان الأملاح في التحت جزء 2.2.2 . العامل الأساسي الحاكم للذوبان هو معامل النشاط الأيوني (δ) *Ion activity coefficient* . كلما انخفضت قيمته كلما زادت الذوبانية . قيمة δ تقل بشدة مع زيادة Z^2 ؛ وعلى ذلك سوف تكون أدنى ذوباناً بالقرب من تساوي الجهد الكهربي ***IEP*** . بالإضافة إلى ذلك ، تقل قيمة δ مع زيادة القوة

الأيونية (*I*) ، ويزداد على ذلك الذوبان بزيادة *I* والتي تسمى *Salting in* . تم توضيح مثال لهذه التأثيرات في شكل 23.2 *b* وقد تمت ملاحظة الاتجاه الموضح عادة ، ولكن العلاقة الكمية مثل قيمة الذوبانية الأدنى تختلف كثيراً بين البروتينات .

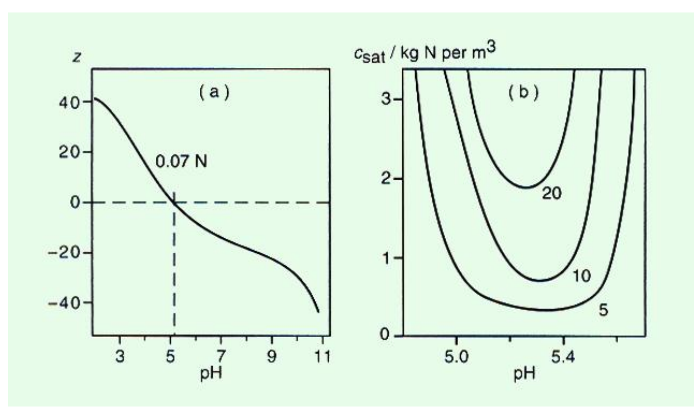
التجاذبات الكارهة للماء *Hydrophobic Interactions*

إذا تعرضت مجموعات جانبية كارهة للماء كثيرة للمذيب ، فإن البروتين يميل لتكوين روابط كارهة بين الجزيئات والتي يمكن أن تؤدي إلى الترسيب ، إلا إذا كانت الشحنة الكهربية عالية ، وعلى ذلك فإن الذوبان يعتمد على مكونات الحمض الأميني للبروتين ، وعلى ترتيباته التركيبية . يسبب دنترة البروتين الكروي كثيراً من المجموعات الجانبية الكارهة للماء تصبح معرضة وعادة ما يؤدي ذلك إلى الترسيب *Precipitation* .

يعتمد الذوبان أيضاً على خواص المذيب ، يمكن أن تؤثر بعض المواد المذابة على قوة التجاذبات الكارهة للماء ، وبذلك تؤثر على الذوبان . وتخص هذه الأملاح ذات التركيز المرتفع (مضاعفات قليلة لواحد مولر 1*M*) ، والتي تقلل الذوبانية . ويسمى ذلك *Salting out* . التأثير يختلف كثيراً بين الأملاح . وعلى ذلك فليست القوة الأيونية هي المحددة . تسلك بعض مواد مذابة عديدة نفس المسلك مثل الإيثانول . فإذا كانت التجاذبات الكارهة للماء هي المحددة ، فإن الذوبان يقل بصورة ملحوظة بانخفاض الحرارة إلى صفر درجة مئوية . وهنا ما يلاحظ عادة بالنسبة للكازين .

وأخيراً كلمات قليلة حول التميه *Hydration* إن المجموعات المتأينة دائماً ما تتميه عندما تتصل بالماء . ويعني هذا أن جزءاً واحداً وقليلاً من الجزيئات تبقى بالقرب من المجموعة عن قربها من مجموعة غير مشحونة أي 10^{-9} عنها من 10^{-12} . يمكن أن تعتبر هذه الجزيئات المائية مربوطة *bound* . ويحدث شيء مماثل بالقرب من قطب ثنائي قوي *strong dipole* ويعني هذا أن الروابط الببتيدية تكون في المتوسط حوالي 0.5 جزء ماء لكل رابطة ببتيدية .

إن المـاء المـرتـبـط نـادراً مـا يـقـدر بـأكـثـر مـن 0.2 جـرام لـكـل جـرام مـن البروتين الجاف ، وتعتمد القيمة بصـــعوبة على الأس الهيدروجيني . لا يجب أن يســـاوي الماء المرتبط بغير المتحرك أو المحتجز *Heldwater* ، في عـدة منتجـات عـديـدة محتويـة على البروتين ، وغـالبـاً مـا يتم اصـــطيـاد الماء المحتجز في التركيـب ، ويمكن أن يكون بكميـات كبيرة (حوالي 100 جرام لكـل جرام من البروتين الجـاف) وتعتمـد كميتـه كثيراً على الأس الهيـدروجيني ومتغيرات أخرى .



شـــكل 23.2 بعض خواص البيتا لاكتوجلوبيلين (*a*) منحنى المعايرة متوســـط التكافؤ *Z* كدالة للأس الهيدروجيني (*b*) الذوبانية (C_{sat}) كدالة للأس الهيدروجيني لتركيزات مختلفة لكلوريد الصوديوم (ميليمولر)

Figure 2.23 Some properties of β-lactoglobulin. (a) Titration curve: the average valency z as a function of pH. (b) Solubility (csat) as a function of pH for various NaCl concentrations (indicated, millimolar)

5.1.4.2 التفاعلية *Reactivity*

إن المجموعـات الجـانبيـة التفـاعليـة للبروتين المـذاب تكون جميعهـا معرضـــة للمـذيـب وعلى ذلـك يمكنهـا التفـاعـل . يمكن تلخيص التفـاعلات المختلفـة في تحـت الجزء 1.1.4.2 . يتعرض البروتين أيضـــاً للكســـر بـالتحليـل المـائي للروابط الببتيـديـة ، إذا وجـدت

الإنزيمات المناسبة ، تندرج هذه الإنزيمات في نوعين أساسيين . الإنزيمات الببتيدية الخارجية *Exopeptidases* تفصل الأحماض الأمينية واحداً تلو الآخر من سلسلة عديد الببتيد ، إما من النهاية *N* أو من النهاية -*C* . تكسر الإنزيمات الببتيدية الداخلية *Endopeptidases* والإنزيمات البروتينية في مكان ما في منتصف السلسلة . تكون الإنزيمات المنفردة متخصصة نوعاً ما لروابط بين بقايا أحماض أمينية معينة ، تنتج الإنزيمات المحللة للبروتين *Proteolysis* ببتيدات وأحماض أمينية عديد منها له نكهة مميزة مرة (البروتينات نفسها ليس لها نكهة) يمكن أن تحدث أنواع أخرى من التحلل المائي الإنزيمي مثل إزالة الفسفرة للحامض الأميني السيرين *Serp* .

تكون البروتينات الكروية أقل تفاعلاً لأن المجموعات الجانبية العديدة تكون مدفونة في اللب . تكون أغلب المجموعات المتأينة معرضة ، فمثلاً يكون الليسين متورطاً في تفاعل ميلارد *The Maillard reaction* (تحت الجزء 3.2.7) . السيستين *Cysteine* نادراً ما يكون معرضاً ، ويمكن أن يكون أقل تفاعلاً عند درجات حرارة عالية أو أس هيدروجيني مرتفع . تكون البروتينات الكروية أيضاً مقاومة لكثير من الإنزيمات المحللة للبروتين . ولعل هذا كله يعني أن هذه البروتينات تصبح أكثر تفاعلية عند دنترتها .

تحدث أغلب التفاعلات الكيميائية خاصة عند درجة حرارة مرتفعة ، وسوف يناقش ذلك بالتفصيل في تحت الجزء 2.2.7 . وهناك تحلل من نوع آخر تسببه الكائنات الدقيقة يمكن أن يتسبب في انفصال ثاني أكسيد الكربون والأمونيا والتي يمكن أن تكون نكهات غير مرغوب فيها .

2.4.2 مسح لبروتينات اللبن *Survey of Milk Proteins*

إن حوالي 95% من النيتروجين في اللبن موجود في شكل بروتينات . تضاعف محتوى البروتين بواسطة الضرب في عامل كلدال *Kjeldahl factor* (6.38) يكون مقبولاً لكي يعطي المحتوى البروتيني في اللبن والمنتجات اللبنية . وبالرغم من أن عامل كلدال يختلف بين بروتينات الدم (انظر جدول 2.13) والعامل المتوسط للبن كله يتم حسابه عند حوالي 6.36 . الأكثر أهمية

جدول 13.2 البروتينات في اللبن

Table 2.13 Proteins in Milk

ملاحظات Remarks	جرام بروتين / جرام نيتروجين g protein / g N	كتلة مولارية Molar mass	جرام/100 جرام بروتين g/100g Protein	جرام لكل كيلو جرام لبن g/kg milk	ميليمول لكل متر 3 لبن mmol/m^3 milk	Protein البروتين
IEP ≈ 4.6	6.36	–	78.5	26	1120	الكازين Casein
فوسفوبروتين Phosphoprotein	–	~23600	32	10.7	450	الفاكازين α_{s1}-Casein
بالمثل ، تحتوي على S-S- Same,contains-S-S-	–	~25200	8.4	2.8	110	ألفا s2 كازين α_{s2}-Casein
فسفوبروتين Phosphoprotein	–	23983	26	8.6	360	بيتا كازين β-Caseinn
جليكوبروتين "Glycoprotein"	–	~19550	9.3	3.1	160	كابا كازين κ-Casein
جزء من البيتا كازين Part of β-Casein	–	~20500	2.4	0.8	40	جاما كازين γ-Casein
ذائبة عند PI Soluble at IEP	6.3	–	19	6.3	~320	بروتينات المصل Serum proteins
يحتوي على سيستين Contains cysteine	6.29	18283	9.8	3.2	180	بيتا لاكتوجلوبلين β-Lactoglobuin
Part of lactose symthase	6.25	14176	3.7	1.2	90	ألفا لاكتوجلوبلين α-Lactalbumin
Blood protein	6.07	66267	1.2	0.4	6	البيومين المصل Serum albumin
غير متجانس Heterogeneous	6.54	4000-40000	2.4	0.8	~40	بيتوز - بيتون Proteose-peptone
جليكوبروتينات Glycoproteins	~6.20	–	2.4	0.8	~4	جلوبيولينات مناعية Immunoglobulins
Several types	–	~150000	1.8	0.65	–	IgG1.IgG2
	–	~385000	0.4	0.14	–	IgA

جزء يكون كريوجلوبيلين Part is cryoglobulin	–	~900000	0.2	0.05	–	IgM
	–		2.7	0.9	–	Miscellaneous
جليكوبروتين مرتبط مع حديد Glycoprotein,binds Fe	6.14	86000		0.1	~1	لاكتوفورين Lactoferrin
Glycoprotein,binds Fe	6.21	76000		0.1	~1	ترانسفيرين Transfemin
جليكوبروتين Glycoproteins,etc	- 7.1	–	2	0.7	–	بروتين الغشاء Membrane proteins
	–	–	–	–	–	الإنزيمات Enzymes

1. المكونات التقريبية *PI* = الأس الهيدروجيني متساوي الجهد .

Note: Approximate composition. IEP = isoelectric pH.

هو وجود مكونات النيتروجين غير البروتينية *non protein Nitrogen components* والتي تمثل حوالي 5% من النيتروجين الكلي في اللبن الطازج (انظر تحت الجزء 1.6.2) . القيم عادة المسجلة للمحتوى البروتيني للبن هي عالية بمقدار 5 أو 6% أو حوالي 0.2 وحدات نسـبية . ويسـتحسـن أن يكون الكلام عن محتوى البروتين الكلي أو الخام ، ترجع البيانات المعطاة في هذا الكتاب إلى المحتوى البروتيني الحقيقي ، إلا إذا ذكر غير ذلك .

تتكون بروتينات اللبن من مخلوط معقد يصـعب فصـل مكونات نقية منفردة منه ، لأن بعضـاً من البروتينات تكون ذات صلة لصيقة ، بالإضافة إلى ذلك بسبب وجود تغيرات جينية لبروتين معين يمكن أن تحدث اختلافات في قابلية التحرك عند الفصـل الكهربي . بالإضـافة إلى ذلك فإن نوعية البروتين عادة ما توجد في بعض المكونات المختلفة نتيجة لتحورات بعد الترجمة ولوجود متغيرات جينية .

مكونات البروتين معروفة جيداً ، لأن بروتينات اللبن تم دراسـتها بشـكل شـامل ، ليس بسـبب أهميتها الاقتصـادية فقط ، ولكن لسهولة الحصول عليها بكميات كبيرة ، وعلى ذلك استخدمت كنموذج للبحث . يقدم الجدول 13.2 مسـح لبروتينات اللبن ويلخص الجدول 14.2 بعض الخواص العملية للمجموعات الأساسية ، تم تضمين الخواص الكيميائية المختلفة لبروتينات اللبن الأساسية في جدول 15.2 وتركيبات الأحماض الأمينية في الفهرس وجدول *A.5* .

الكـازين *Casein* هو مخلوط من عـدة مكونـات (جـدول 13.2) وطبقـاً للتراكيـب الأولية المحددة جينياً يمكن أن نميز $\alpha s_1-, \alpha s_2, \beta-$ و k-كازين ولكن كل منها يحدث في عدد من المتغيرات . أغلب جزيئات $k-$ كازين جليكوزيدة إلى حد ما . جزء من الـــ $\beta-$ كازين ينفصـل بإنزيمات محللة للبروتين إلى $\delta-$ كازين وبيبتون بروتيوز . $\alpha s-$ و $\beta-$ كازينات هي فسـفوبروتينات لها عدد من المجموعات الفوسفاتية التي حدث لها عملية أسترة إلى بقايا سيرين ، تترسب بأيونات الكالسيوم Ca^{+2} ولكن k- كازين يحميهم من الترسيب إلا أن الــ k- كازين يهاجم بسهولة بواسطة إنزيم كيموزين المنفحة الذي يفصل جزء لجزئ الــ K- كازين ، وبذلك يفقد قدرته الحامية . ونتيجة

ذلك فإن الكازين يترسب في وجود أيونات الكالسيوم ، هذه التفاعلات هي الأساس في تجبن اللبن بالمنفحة وتكوّن الجبن . الكازين الذي تغير في هذه الطريقة يسـمى الباراكازين *Paracasein* ويمكن الحصـول عليه بواسـطة التنفيح *Renneting* . الكازين الناتج من عملية التنفيح له محتوى عالٍ من فوسـفات الكالسـيوم . (ملحوظة ، الكازين والباراكازين هما أسماء كميائية ، الكازين الحامضـي وكازين المنفحة أسماء لمنتجات تجارية) .

جدول 14.2 **بعض خواص المجموعات الأساسية في بروتين اللبن الفرز**

Table 2.14 **Some Properties of the Main Groups of Protein in Skim Milk**

الخاصية Property	الكازينات Caseins	البروتين الكروي Globular proteins	بيتون-بروتيوز Proteose-peptone
موجود في Present in	جسيمات الكازين[a] Casein micelles[a]	مصل	كلاهما
ذائب عند pH 4.6 Soluble at pH 4.6	لا	نعم	نعم
التجبن بواسطة المنفحة[b] Clotting by rennet[b]	نعم	لا	جزئياً
دنترة بالتسخين Heat denaturation	لا	نعم	لا

a: في درجة حرارة منخفضة جزء يكون في المصل .

b: عند أس هيدروجيني 6.7 .

a. At low temperature part is in the serum.
b. At pH 6.7.

يترسـب الكازين بروتين من اللبن عند أس هيدروجيني قدره 4.6 وعلى ذلك فهو عديم الذوبان عند أس هيدروجيني متسـاوي الجهد الكهربي . والكازين ليس بروتيناً كروياً موجوداً في اللبن بتجمعات كبيرة ، ويتحلل بكثرة . وتحتوي جسيمات الكازين على فوسفات الكالسيوم شبه الغروية *ccp* وعند التحميص *Acidification* تذوب الـ *cccp* .

Table 2.15 Properties of Some Milk Proteins

جدول 15.2 خواص بعض بروتينات اللبن

Serum albumin	α-Lactoglobulin (B)	β-Lactoglobulin (B)	κ-Casein (A)	β -Casein (A[2])	α_{s2}-Casein (A)	α_{s1}-Casein (B)	الخاصية Property
66 267	14 176	18 283	19 023[1]	23 983	25 230	23 614	Molaar mass
582	123	162	169	209	207	199	Amino acid resdues/molecule
0	0	0	1	5	11	8	Phosphoserine (res/mol)
35	8	5	2	0	2	0	Cysteine (res/mol)
17	4	2	-	0	1	0	-S-S-linkages/mol
0	0[4]	0[3]	~2.3[2]	0	0	0	Hexoses (res/mol)
24	26	29	22	29	23	4.9	Hydrophobicity[3] (KJ/res)
46	30	11	?	10	?	5-10	α-Helix (approximate %)
34	28	30	21	23	36	34	Charged residues (mol%)
-0.02	-0.02	-0.04	-0.02[2]	-0.06	-0.07	-0.10	Net charge/residue
	Even	Even	Very uneven	Very uneven	Uneven	Uneven	Distribution of charge
4.8	~4.3	5.2	5.6	4.8	?	4.1?	Isoelectric pH
No	No	Dimer	Strong	f (T)[6]	Strong	Strong	Association tendency
-	([7])	-	-	+	++	++	Ca^{2+} binding

1. مقصور على بقايا الكربوهيدرات .
2. المتوسط .
3. B في متغير نادر (Dr) .
4. جزء صغير من الجزيئات له بقايا كربوهيدراتية .
5. مقياس تانفورد بيجيلو .
6. ضعيف تحت 5 درجات مئوية ، وقوي (تكوين الجسيمات) عند 37 درجة مئوية .
7. تربط مول واحد Ca^{2+} لكل مول ، رابطة قوية جداً .

1 Exclusive of carbohydrate residues.
2 Average.
3 8 in a rare variant (Dr).
4 A small fraction of the molecules has carbohydrate residues.
5 Tanford-Bigelow scale.
6 Poor below 5°C, strong (micelle formation) at 37°C.
7 Binds 1 mole Ca^{2-} per mole; very strong bond.

يكون الكازين حســاســاً للحرارة بصــعوبة . التســخين عند درجات حرارة فوق 120 درجة مئوية فقط يصبح الكازين غير ذائب ببطء . يقلل خفض الأس الهيدروجيني للبن بصـورة محسـوسـة ثباته الحراري .

تكون بروتينات المصـــل *Serum proteins* موجودة في صـــورة ذائبة في المصـــل . ويطلق عليها غالباً بروتينات الشـــرش *Whey proteins* وبالرغم من أنها لم تعرف بدقة لبروتينات شـــرش الجبن الـذي يحتوي أيضـــاً الببتيـدات المنفصـــلـة عن *K*– كـازين . الجلوبيلينـات المنـاعيـة *immunoglobulins* في اللبن تخلف اختلافاً واسـعاً في التركيز والتركيب (اللبأ *Colostrums* محتواه من الجلوبيلينات المناعية عالٍ) . تكون جميع بروتينات المصـل ماعدا البروتيوز–ببتون *proteose-peptone* والببتونات البروتيوزية بروتينات كروية وعند *pI* الخاص بها تبقى في المحلول ولكنها تكون حســاســة للحرارة .

تكون البروتينات المتنوعة *Miscellancous proteins* عديدة . يحتوي غشاء كريات الدهن على عديد منها ، شـاملة جليكوبروتينات متنوعة ، تمتلك بعضـها بقايا سيسـتيين *cysteine residues* التي تولد غاز كبريتيد الهيدروجين بسـهولة بالتسـخين . وطبقاً لذلك فإن غاز كبريتيد الهيدروجين ينطلق بكثرة بتســـخين القشـــدة . تكون كثير من إنزيمـات البروتينـات في اللبن موجودة في غشـــاء كرية الدهن . توجد جميع بروتينات الغشاء أيضاً في البلازما ولو بتركيز صغير جداً .

توجد في اللبن آثار من بروتينات متحدة مع الحديد في المصل ، متصلة بجسيمات الكازين ، وفي غشـــاء كريات الدهن ، وقد تم فحص اللاكتوفيرين *Lactoferrin* جيداً . إذا كـان الأس الهيدروجيني ليس منخفضاً للغاية ، فإنه يرتبط مع 0.12% حديد (Fe^{3+}) وعندها يكون لونه أحمر .

3.4.2 بروتينات المصل *Serum proteins*

إن أغلب بروتينات المصـل بروتينات كروية وعندها خاصـية كره للماء نسـبياً وسـلاسـل ببتيدية منثنية ومحكمة . تحتوي أغلبها على نســبة كبيرة من الحلزون α ، وعادة ما يكون توزيع الشحنة متجانساً (انظر جدول 15.2) . تصبح البروتينات غير ذائبة في اللبن إذا سخنت ، وما من شـك في أن هذا التغير يكون مرتبطاً معاً ، ويمكن أن يحدث بواسـطة دنترة البروتين الناتج . ولكي نكون متأكدين يجب أن يكون التفاعل أكثر تعقيداً (انظر تحت جزء 7.2.2) . لا تنتج الدنترة عن التلبد *flocculation* ولكن البروتينات تترسـب فوق جسـيمات الكازين وتبقى منتشـرة . يتحول اللبأ الذي له محتوى عالٍ جداً مع بروتينات المصـــل إلى هلام عندما يســخن بطريقة مماثلة لبياض البيض .

α- لاكتألبومين *α- Lactalbumin* (ألبومين اللبن) وهو يشـــبه الليزوزيم *Lysozyme* ولكن ليس له تأثير قاتل للبكتيريا . وظيفته البيولوجية هي أنه مساعد إنزيمي في تخليق اللاكتوز . يكون البروتين منثنياً للغاية ، جزيئاته كروية إلى حد ما ، له أس هيدروجيني طفيف *Slightly pH* ، ومعتمد على الملح *Salt-dependent* . ولا يتجمع إلا عند قوة أيونية منخفضة .

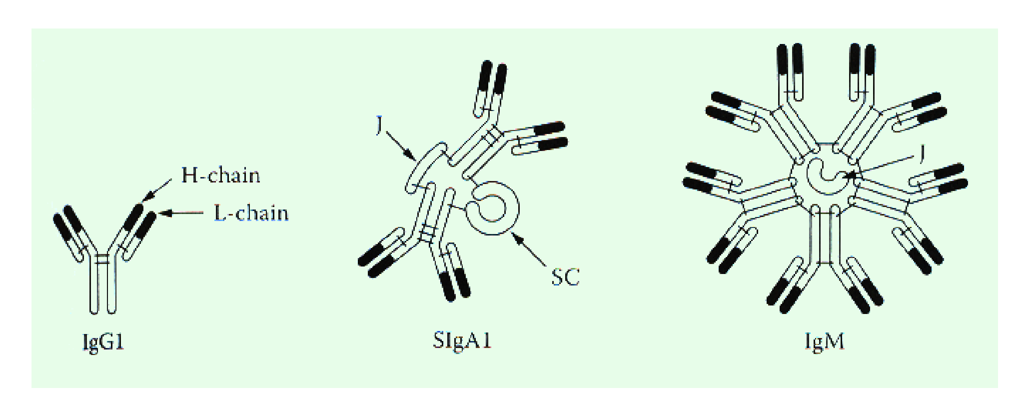
β- لاكتوجلوبيلين يكون جلوبيلين اللبن كارهاً للماء (متوســط كراهيته للماء =5.1) كما في الكازين ، ولكنه لا يحتوي على فوسـفات مربوطة بالأسـتر *Ester-bound* وقليل من البرولين ، وعنده رابطتان $-S-S-$ فقط ومجموعة كبريت مهـدرج حرة واحدة والتي تكون نشـــطة جداً . وتعتمد ذوبانيته بدرجة كبيرة على الأس الهيدروجيني والقوة الأيونية ، ولكنه لا يترسـب عند تحميض اللبن . β- لاكتوجلوبيلين غير ذائـب في الماء النقي . يكون موجوداً في اللبن كـدايمر *dimmer* (وزنه الجزيئي =36566) . ويرتبط كلا الجزيئين بعضـــهما ببعض بواســطة تجاذبات كارهة للماء . يتحلـل الـدايمر عنـد درجـة حرارة عـاليـة . عنـد أس هيـدروجيني منخفض ، يتجمع البيتـا – لاكتوجلوبيلين ليكون *octamer* (بوليمر ثماني الجزيئات) . تتجمع المتغيرات الجينية مع بعضـــها لدرجة مختلفة ، أي أن *C<B<A* .

مصـــل ألبومين (الدم) عبارة عن جزيء كبير وبه روابط كبريتية عديدة *-S-S–* وكثير من حلزون α وهو جزء مستطيل الشكل حوالي 12×3 نانومتر من الحجم . ومن المحتمل أنه يدخل إلى اللبن بواسطة "ارتشاح" ***Leakage*** من مصل الدم .

إن الجلوبيلينات المناعية عبارة عن أجسام مضادة تخلق استجابة للإثارة بواسطة أنتيجينات معينة وتوجد خاصـــة في الدم . الجلوبيلينات المناعية عبارة عن جزيئات بروتينية ذات تركيب غير متجانس حتى داخل تحت طائفة واحدة ، ليس هناك أية دهشة في اعتبارها مكونات خلايا إفرازية مختلفة يمكن لكل منها إنتاج سلاسل ببتيدية مختلفة . بالإضافة إلى ذلك يتكون جزء من الجزيء خصـــيصـــاً لكي يعادل ***Neutralize*** أنتيجن معين ، وهذا ما يســـمى الجزء الفائق الاختلاف . *Hypervariable portion*

ويمكن التعرف على طوائف مختلفة من الجلوبيلينـات المنـاعيـة وتشـــمـل *G* (جـامـا جلوبيلينات) ، *M , A* (جلوبيلينات كبيرة) وتوجد جميعها في اللبن (شكل 17.2) كل جزيء ***IgG*** عبارة عن بوليمر من سلسلتين ثقيلتين (*H*) وسلسلتين خفيفتين (*L*) وزنه الجزيئي =150 ألف . إن للجزيء مكانين نشـــطين متماثلين أو اتصـــالين الأنتيجين المتورط أو جزء صـــغير منه ينطبق بالضـــبط داخل هذه المواقع ويرتبط بواســـطة تفاعلات عديدة ، روابط هيدروجينية ، روابط كارهة للماء ***Hydrophobic*** تجاذبات إلكتروســـتاتيكية ، وتكون المســـافة بين كلا المواقع المتفاعلة مرنة وهذا يســـهل الالتحام مع الأنتيجين . ويمكن أن تحدث الجلوبيلينات المناعية ***IgG*** فعلاً ضـــد أنتيجينات عديدة ويمكن أن تثبط النمو البكتيري . ***IgM*** تتكون من بلومير خماســـي ***Pentamar*** من جزيئات تشبه ***IgG*** متصلة بواسطة ما يسمى المكون *J* (شكل 24.2) وهو جزء كبير كتلته المولارية حوالي 900000 وقطره حوالي 30 نانومتر . ***IgM*** يمكن أن تكون جســـماً مضـــاداً ضـــد المجموعات عديدة التسكر (الموجودة في جدار خلية البكتيريا) وتعمل خاصـة ضـد "جسـيمات" تشمل البكتيريا والفيروسات . وهي تستطيع تلبيد الجسيمات لأن جزيئاً مفرداً ***IgM*** يصبح متصلاً

مع جزيئين من هذه الجسـيمات (تكون المواقع المتفاعلة على الجانب الخارجي للجزيء) . وتسـمى هذه التلبدات التلازن ***agglutination*** ، والجلوبيلينات المناعية ***IgM*** المختصـة تسـمى المادة الملزنة ***agglutinin*** ، يكون تفاعل التلازن متخصصاً بالنسبة للأنتيجين ، ولكن تعتمد أيضاً على عوامل مثل الأس الهيدروجيني والقوة الأيونية . عـادة مـا يكون الأس الهيـدروجيني المثالي =5.5-7 والقوة الأيونيـة المثلى =0.05 . بعض المواد الملزنـة تترسـب بـالتجميد ***Cryoprecipitation*** أي أنها تترسب عند درجات حرارة منخفضة . (أقل من 37 درجة مئوية) .



شكل 24.2 شكل تخطيطي للجلوبيلينات المناعية *G*1 المفرزة *A*1 , *M* الروابط داي سيلفير تمثل بواسطة شرط والأجزاء المختلفة مظللة

Figure 2.24 Schematic shape of immunoglobulins G1, secretory A1, and M. Disulfide linkages are designated by dashes. Variable portions are black. (From P. Walstra and R. Jenness, Dairy Chemistry and Physics, Wiley, New York, 1984. With permission)

والأفضـل أكبر من 15 درجة مئوية . وبفعلها ذلك فإنها تسـتطيع أيضـاً أن تلزن جزيئات أخرى ، وهذه عملية تلبيد غير متخصـصـة جزئياً ولكن بالنسـبة للباقي تشـبه عملية التلزن ، والبروتينات المتورطة تسمى جلوبيلينات التجمد ***Cryoglobulins*** .

في اللبن *IgG* (1 , 2) , *IgA* , *IgM* تكون جميعها موجودة (جدول 16.2) . تكون التركيزات مختلفة للغاية ، توجد تركيزات عالية في اللبأ حيث توجد كميات صـــغيرة للغاية في لبن عملية الحلب المتأخرة ، ولكن هناك أيضـــاً اختلافات معنوية بين الأبقار المنفردة ، يمكن أن تحتوي أجزاء الجلوبيلينات المناعية للبن أيضاً على البروتينات الدهنية *Lipoprotein* .

مـا يعرف عن فعل *IgG* قليل (والتي لها تركيزات عـالية للطوائف المختلفة) و *IgA* في اللبن ، يتم تثبيطها بعض بكتيريا حامض البروبيونيك بواســـطة واحد أو أكثر أو كليهما . إلا أن *IgM* تكون أكثر أهمية في اللبن ويشـــمل ما يســـمى اللكتينات $L_3, L_1,$ *Lactenins* التي تثبط البكتيريا موجبة الجرام *Gram-positive bacteria* . تكون هذه اللكتينات مواد ملزنة L_1 تعمل خاصة ضد بعض سلالات من ***Streptococcus pyogenes*** و L_3 ضد بعض السلالات من ***Lactococcus tactis*** . يكون تأثيرها الملزن منخفضـــاً للغاية ، عادة هناك بكتيريا حســـاســـة وأخرى غير حساسة في سلالة واحدة ، طبيعياً وسوف يعتمد التأثير المتخصص على الأنتيجينات (في هذه الحالة البكتيريا) التي تصادف البقرة .

IgM تحتوي على جلوبيلين تجمد واحد على الأقل *cryoglobulin* . الأخير هو المسبب لتلبد كريات الدهن في اللبن (تحت جزء 4.2.3) ، والذي هو تفاعل غير متخصص ، كل جلوبيلين تجمد موجود يلبد كريات الدهن في أنواع اللبن . والبكتيريا أيضـــاً يحدث لها "تلزن" على كريات الدهن . ومن المحتمل ، أن يكون ذلك تفاعلاً خاصـاً . تسـبب كل هذه التفاعلات إزالة للبكتيريا من اللبن . سـوف يرسـب تلزن عادي البكتيريا إلى قاع الوعاء . إذا تم تلزنها على كريات الدهن ، فإنها تتراكم في طبقة القشدة وكنتيجة لذلك ، فإن نمو وتأثير البكتيريا يمكن أن يثبط بصورة ملموسة .

يتم تثبيط المواد الملزنة بالمعاملة الحرارية (تحت جزء 7.2.2) ، يتطابق تفاعل التثبيط مع وقت تحول الجلوبيلينات المناعية إلى الحالة غير الذائبة ، يثبط التجنيس أيضـــاً المواد الملزنة ولكن سبب ذلك غير مؤكد .

إن الوظيفة الرئيسية للجلوبيلينات المناعية هي تمنيع العجول الرضيعة أثناء الأيام الأولى القليلة بعد الولادة . يمكن أن تمتص العجول الجلوبيلينات المناعية من اللبأ داخل الدم من خلال المجرى المعدي المعوي . يحتوي لبن السرسوب على مكون (جلوبيلين يشبه البروتين) يثبط إنزيمات تحلل البروتين وخاصة التربسين في اللبن ، هذا المكون غير موجود فعلاً . وبالإضافة إلى ذلك ، الكيموسين *Chymosin* الذي لا يهاجم الجلوبيلينات المناعية يوجد كإنزيم يحلل البروتين في المعدة الرابعة للعجول حديثة الولادة ، على عكس التربسين ، فكلما تقدم العجل الوليد في العمر كلما ازدادت كمية البيبسين .

الببتون- بروتيوز *Proteose-peptone* يعرف بأنه غير حساس للحرارة ، لا يترسب عند أس هيدروجيني قدره 4.6 ويترسب بواسطة 12% ثلاثي كلور حامض الخليك ، يكون هذا الجزء مختلفاً للغاية عن البروتينات الأخرى الموجودة في المصل ، يحسب للجزء كلياً ثلاث منتجات هدم مختلفة للبيتا-كازين (المكمل للألفا-كازين) ، هناك أيضاً بروتين مثل جليكوبروتين الذي له علاقة بتركيب غشاء كرية الدهن ومن المحتمل أن هناك آثاراً لبروتينات أخرى . ومن الواضح عند الأس الهيدروجيني المتعادل فإن جزءاً كبيراً من الببتون-بروتيوز موجود في جسيمات الكازين ، ولكن المصل المتحصل عليه من عملية تحميض اللبن يحتوي على ببتونات البروتيوز .

الليزوزيم *Lysozyme* (تحت جزء 7.2.2) هو إنزيم يهاجم السكريات العديدة لجدران خلايا البكتيريا (انفصال حامض الميراميك *Muramic acid*) ولذلك تسبب تحللاً جزئياً لغلاف خلايا البكتيريا ، وعادة ما يؤدي إلى تحللها ، عادة ما تكون نسبة تركيزه في لبن البقر (0-2 مليجرام/لتر$^{-1}$) منخفضة للغاية لكي تكون مؤثرة ، يحتوي لبن الإنسان على كميات أكبر .

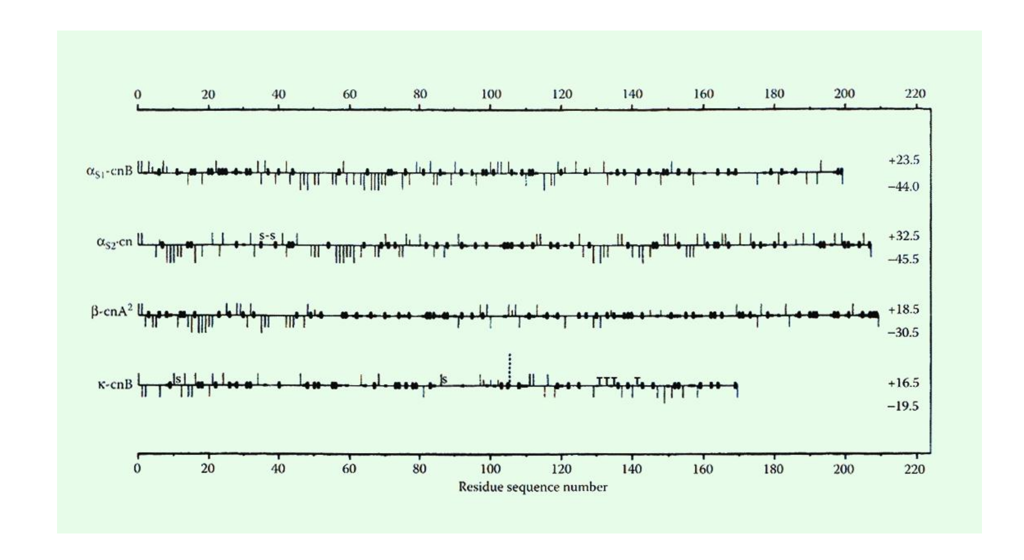
لاكتوفيرين *Lactoferrin* (جدول 13.2) هو مثبط لبعض البكتيريا وتشمل ، باسيلس ستباروثيرموفيليس ***Bacillus stearothermophilus*** وباسيلس سيبتلس ***B. subtilis*** . التثبيط يحدث بإزالة أيونات الحديد من المصل . ولكي يتم التأكد يكون تركيز اللاكتوفيرين في لبن البقر منخفضاً ، ويكون في لبن الإنسان أعلى بكثير .

4.4.2 الكازين *Casein*

تختلف خصـــائص الكازين عن أغلب البروتينات (الجدول 15.2 والشـــكل 25.2) . الكازينات كارهة للماء ولديها شـــحنة عالية ، لا تكون كثير من بقايا البرولينات وقليل من بقايا السيستين . الكازينات أكثر من أطوال قصيرة من الحلزون α ولها تركيب ثانوي قليل ، ولا يعني هذا أن جزيئات الكازين تكون ملتفة عشوائياً ، ولو أن في المحلول المخفف تكون السلاسل غير مطوية جزئياً ، تكون مجموعات كارهة للماء معرضة لدرجة أن الجزيئات تكون مستعدة لعمل روابط كارهة للماء ، ولذلك فالكازينات تبدي ارتباطات كثيرة إما ارتباطات مع نفسها أو ارتباطات مع جزيئات أخرى (الارتباط في جسيمات الكازين سيناقش في فصل 1.3.3) . الشحنة العالية نسبياً تكون لازمة لحفظ الكازين في المحلول .

لا تســـتطيع جزيئات الكازين أو تســـتطيع بصـــعوبة أن تدنتر *denatured* البروتين لأن عندها تراكيب ثانوية وثالثة قليلة ، المثال موجود في شـــكل 22.2 . بيتا لاكتوجلوبيلين ، بروتين كروي مثالي يظهر تغيراً تكوينياً حاداً عند حوالي 4 M يوريا ، بينما يتغير بيتا – كازين قليلاً ، ولهذا السبب لا يصبح الكازين غير ذائب بالتسخين تحت 100 درجة مئوية ، ولكن ذلك يحدث عند درجة حرارة أعلى ولكن عندها تحدث تفاعلات كثيرة .

تســـبب مجموعات الفوســـفات الشـــحنة العالية للكازين . والتي تكون في أغلب الأجزاء تمت اســـترتها لبقايا ســـيرين ، وقرب الأس الهيدروجيني للبن تكون متأينة بصـــورة كبيرة (جدول 12.2) . تتحد المجموعات بقوة مع الأيونات ثنائية التكافؤ مثل Ca^{2+} وخاصـــة عند أس هيدروجيني أعلى . يوضح شكل 26.2 أن الاتحاد مع الكالسيوم يوازي محتوى هذه المجاميع وبسبب ذلك تترسب α_{s1} , $\beta-$كازين عند نشاط منخفض لأيون الكالسيوم .

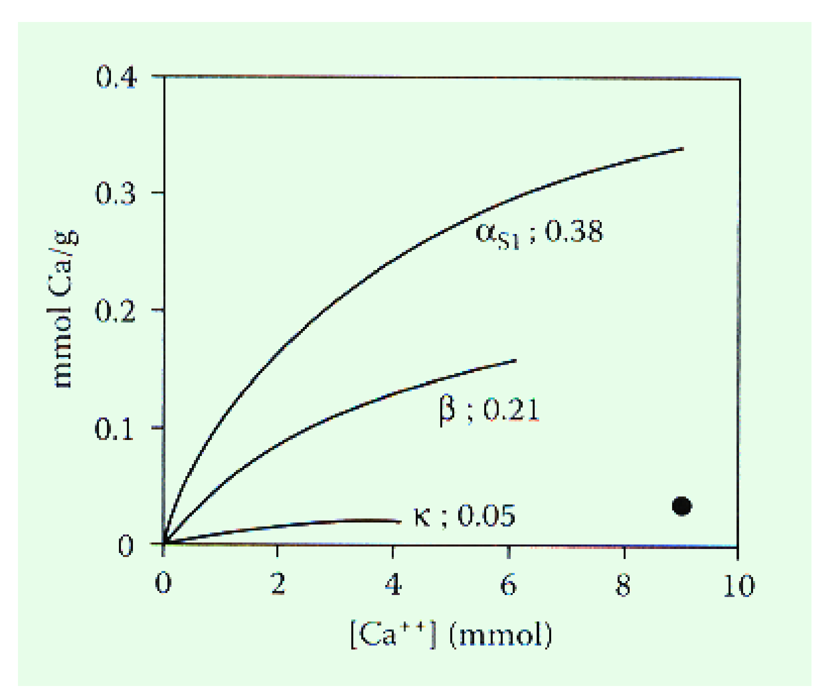


شكل 25.2 سلاسل ببتيدية للكازين ، تدل القضبان الرأسية على الشحنات السالبة والموجبة على الترتيب ، حيث القضبان السلبية الطويلة تمثل سيرين *P* والقضبان الموجبة القصيرة تمثل الهيستيدين ، الصلبان تدل على بقايا البرولين ، المربعات السوداء تدل على الأحماض الأمينية الكارهة للماء (hydrophobic val ,Trp , phe , lle) وروابط S-S للسيستين . القضيب المنكسر يشير إلى نقطة الكسر بواسطة الكيموزين ، الأماكن المحتملة لبقايا جليسيد التي حدث لها أسترة للثروبونين *T*

Figure 2.25 Peptide chain of caseins. The vertical bars stand for positive and negative charges, respectively (exclusive of those of neuraminic acid), where the long negative bars denote SerP and the short positive ones His. The crosses stand for praline residues, the black squares for hydrophobic amino acids, Ile, Leu, Phe, Trp, and Val. S indicates a cysteine residue and S-S a linkage. The broken bar indicates the point of cleavage by chymosin. Possible location of glucide residues esterified to threonine: T. For amino-acid sequences of the caseins, see Appendix, Table A.6

توجد كازينات عديدة مختلفة في اللبن ، ولكن فصلها ليس سهلاً ، التفاعلات التي تسبب ترسيبها من اللبن (التحميض *acidification* ، التنفيح *renneting* ، الطرد المركزي بعد إضافة الكالسيوم) جميعها تعطي مخلوطاً كاملاً إلى حد ما من الكازينات . بعد التفريد الكهربي تم التعرف على ثلاث مكونات للكازين α , β , δ . بعد ذلك تم فصل $\alpha-$ كازين إلى جزء حساس للكالسيوم Ca^{2+} (αs كازين حساس لأيونات الكالسيوم) وجزء آخر غير حساس أي *K* . تكون عملية فصل إضافية ضرورية للحصول على مركبات نقية وحالياً تم التعرف على التراكيب الأولية

الكاملة . ولقد اتضـــح أن هناك أربع ســـلاســـل ببتيدية مختلفة $\alpha_{s_1}, \alpha_{s_2}, \beta$ – و κ والتي تكون نسبها المولارية كالتالي 4 : 1 : 4 : 1.6 تسبب الاختلافات في عملية الفسفرة *Phosphory-lation* وعملية *Glycosylation* بالإضافة إلى بعض عمليات التحلل البروتيني عدم تجانس إضافي .



شكل 26.2 اتحاد الكالسيوم عند أس هيدروجيني قدره 7.4 محتوى الفوسفات المرتبطة بالأستر (ميليمول.جرام[-1] كازين) تم توضيحه النقطة تشير إلى نوع الفسفرة

Figure 2.26 Binding of Ca2+ by caseins at pH 7.4. The ester-bound phosphate content (mmol . g-1 casein) is indicated. The dot refers to dephosphorylated αs1-casein. (Adapted from I.R. Dickson and D.J. Perkins, Biochem. J., 127, 235, 1971)

1.4.4.2 كازين *Casein*

α_{s1}– كازين له شحنة أعلى ومحتوى فوسفاتي عالي . شكل 27.2 يوضح أن α_{s1} كازين يتجمع بقوة في خطوتين عند الأس الهيدروجيني 6.6 , 0.05 مولر قوة أيونية . ومن الواضح لكي نحصل على جزيئات غير مرتبطة يلزم تركيزات منخفضة للغاية من الكازين . وفي الجانب الآخر انخفاض القوة الأيونية وبالتالي زيادة المدى المؤثر للتنافر الألكتروستاتيكي ، يقلل الارتباط بين الجزيئات . تفاعلات كارهة للماء تكون مسببة لهذا التجمع عند درجة أس هيدروجيني أعلى ، أي شحنة أكبر ، التجمع *assosiation* يقل ومن المحتمل أن يختفي ، حتى إذا كان تركيز الكازين عالياً والقوة الأيونية عالية .

المتغير α_{s0}– كازين والذي يوجد بكميات صغيرة يكون عنده مجموعة فوسفات أكثر من α_{s1}– كازين .

2.4.4.2 كازين αs2 - *Casein*

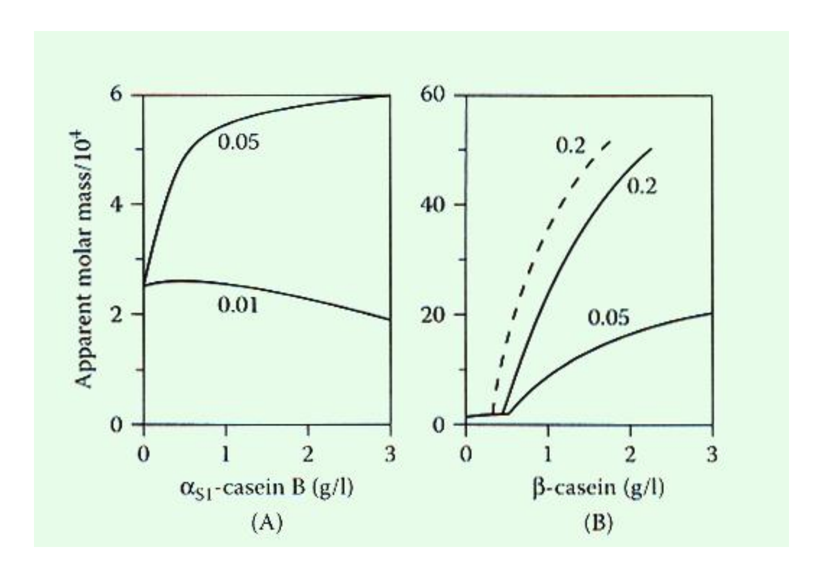
توجد بعض المتغيرات لهذا البروتين . وتختلف عن بعضها في عدد مجموعات الأستر فوسفات أي 10-14 لكل جزيء αs2 – كازين يحتوي على متبقيان سيستين *two cysteine residues* (مكونة قنطرة كبريتية -*S-S*–) ولا يوجد مجموعات كاربوهيدراتية وهناك Ca^{2+} حساسة أكثر .

3.4.4.2 بيتا كازين *β- Casein*

يكون بيتا كازين الأكثر كرهاً للماء وبه عدد أكبر من بقايا البرولين . وبالإضافة إلى ذلك وكما يظهر في الشكل 18.2 تكون الشحنة غير منتظمة التوزيع . فمثلاً قسمت الجزيء إلى قطعتين والبدء من النهاية *N* ينتج الآتي :

عدد تتابعات المتبقي	*Residue sequence number*	1-43	44-209
تكرار البرولين	*proline frequency*	0.20	0.02
تكرار الشحنة	*Charge frequency*	0.12	0.65

-15.5	+ 4.5	*Net charge*	الشحنة الكلية
3.3	6.0	*Average hydrophobicity* (*Kj*/متبقي)	متوسط الكره للماء



شـــكل 27.2 ارتباط α_{s1} و β– كازين كدالة عن التركيز . الأس الهيدروجين 6.6 في α_{s1} ، 7.0 في β– كازين درجة الحرارة 21 درجة مئوية ، للخط المتقطع 24 درجة مئوية ، القوة الأيونية ($mol.m^{-3}$) المشـار إليها في المنحنيات

Figure 2.27 Association of αs1- and β-casein as a function of concentration. pH 6.6 in αs1-, 7.0 in β-casein. Temperature 21°C, for broken line 24°C. Ionic strength (mol . m-3) indicated on curves. (Adapted from D.G. Schmidt and T.A.J. Payens, Suface and Colloid Science, 9, 165, 1976)

ومن الواضـــح أن كلا الجزئين يختلفان كلياً في الخواص ، فالبيتا – كازين تشـــبه إلى حد ما جزئ الصابون برأس مشحون محب للماء وسلسلة طويلة غير قطبية "ذيل" يشبه اتحاد بيتا كازين إلى حد ما الصابون في حدوث تركيز جسيمة حرجة (انظر شكل *B*27.2) . تحوي الجسيمات (هنا بالمعنى المحدد الذي يسـتخدمه الكيميائيون الفيزيائيون) 20 أو 30 جزئ . لاحظ الاعتماد القوي للاتحاد

على درجة الحرارة والقوة الأيونية . تحت درجة 5 مئوية ، لا يحدث تجمع للبيتا-كازين ويبقى الجزيء غير مطوي . ويسلك الآن مسلك ملف عشوائي . يذهب في اللبن جزء من β-كازين إلى المحلول عند درجة منخفضة وبذلك يزيد لزوجة اللبن ، تكون هذه التغيرات عكسية ولكن تحدث ببطء (ساعات) .

4.4.4.2 γ- كازين *γ- Casein*

γ- كازين هو منتج منحل عن β- كازين . ويشابه في أغلب الأجزاء بقايا الحامض الأميني 29-209 من تتابعات β-كازين ، أي الجزء الأكثر كرهاً للماء . وطبقاً لذلك يكون ذائباً في الإيثانول (900 مليجرام.لتر$^{-1}$ في 50% إيثانول α_s- كازين مثلاً فقط 9 مليجرام.لتر$^{-1}$ فقط) .

الشرخ أو الكسر يسببه إنزيم البلازمين *Plasmin* الموجود في اللبن انظر (7.21.4.3) . يمكن أن تختلف كمية γ- كازين بشكل واسع اعتماداً على عمر ودرجة حفظ اللبن ، انفصال أجزاء منه يكون أغلب البروتيوز-ببتونز .

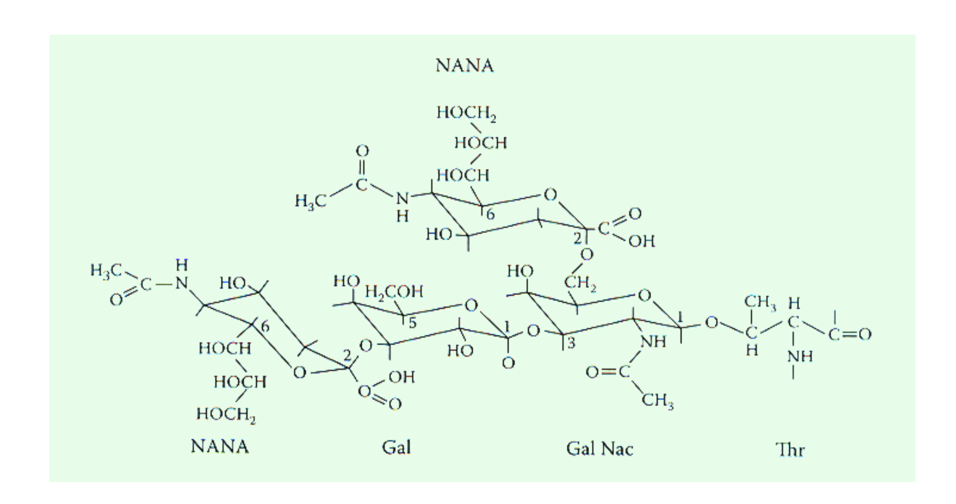
5.4.4.2 K-كازين *K-Casein*

تختلف K-كازين كثيراً عن الكازينات الأخرى . وبه زوج من بقايا السيستين *Cysteine residues* 2 والتي يمكن أن تكون روابط داي سيلفيد بين الجزيئات ولهذا السبب يوجد K-كازين في اللبن كألوليجوميرات *Oligomers* تحتوي على 5-11 مونوميرات *Monomers* حوالي ثلثي الجزيئات تحتوي على مجموعة كربوهيدرات والتي يتم أسترتها لواحد من التريونينات *Threonines* (135,133,131 أو 142) وبها جلاكتوزأمين ، جالاكتوز ، وواحد أو اثنين بقايا حامض أسيتيل نيورامنيك *N-acetylneuraminric acid* (*NANA* أو *O-sialic acid*) انظر 28.2 هذه المجاميع كل منها به شحنة أو شحنتان سالبة وتكون محبة للماء . وتوجد أيضاً بعض صور أقلية ، وعلى ذلك هناك فروق واضحة بين جزيئات K-كازين ،

ولأن بعضـــاً منها لـديه مجموعتـان أســتر فوســفـات بـدلاً من واحـدة . ومـا تســمى *microheterogeneity* دائماً ما توجد حتى في لبن بقرة واحدة .

تحلل الرابطة الببتيدية بين البقايا 106,105 مائياً بسـرعة بواسـطة الإنزيمات . لاحظ أن هناك منطقة مشحونة بشحنة موجبة بالقرب من هذا الموقع (شكل 25.2) .

تتجمع K– كازين أيضاً بقوة لتعطي جسيمات تحتوي أكثر من 30 جزيء مشتملة على مجاميع كربوهيدراتية بارزة ، يكون التجمع أشـــبه بالموجود في β–كازين . هناك فروق كبيرة في التجمع بين الجزيئات الذي تكون له علاقة بالفروقات في المحتوى الكربوهيدراتي .



شكل 28.2 مثال لمجموعة جلوكوزيدية متصلة بـ K–كازين . غالباً البقية *NANA* في المقدمة غير موجودة

Figure 2.28 Example of a glucide group linked to κ-casein. Often the NANA residue at the top is lacking

5.4.2 الجوانب الغذائية *Nutritional Aspects*

يجب أن يزود العجل الصـــغير بالمواد الغذائية ولكن ليس فقط بالإحماض الأمينية ، بل أيضـاً بالكالسـيوم والفوسـفات كمكونات هامة . ومن الواضـح أن الكازين قد تطور بطريقة ما بحيث أنه يمكنه أن يربط كميات كبيرة من فوسفات الكالسيوم ضعيفة الذوبان ، بينما يحافظ على

هذه المواد في معلق ثابت ، وقد تمت مناقشة التركيب والثبات في جسيمات الكازين المتكونة بهذه الطريقة بصورة مستفيضة .

سوف نتناول فقط في هذا الجزء ، القيمة الغذائية للأشخاص الأكبر من عام ، سوف يناقش اللبن كغذاء للرضع في الجزء 6.16 .

الدور الغذائي الأول للبروتينات هو إمداد الجسم بالأحماض الأمينية الأساسية مثل الأيزوليوسين *11e* ، الليوسين *Leu* ، والليسين *Lys* ، والميثونين *Met* ، والفينيل اللانين *Phe* ، والثريونين *Thr* ، والتربتونان *Trp* ، و الفالين *Val* (ويمكن أن تكون هذه الأحماض أيضاً أساسية للأطفال) . إلى هذه النهاية ، يجب أن يكون اللبن جيد الهضم ويحتوي على بقايا هذه الأحماض الأمينية بصورة كافية . يكون هضم اللبن كاملاً (100%) ، ويكون بصورة أقل في المنتجات المسخنة بشدة . يمكن أن تعرض القيمة الغذائية بطرق مختلفة ، وأحسنها هي نسبة الكفاءة للبروتين *Protein efficincy ratio* (*PER*) ، نسبة اكتساب الوزن للحيوان النامي إلى البروتين الذي تم تناوله . قيمة *PER* للكازين هي 2.5 وبروتين المصل 3.0 وبروتين اللبن الكلي 3.3 والتي هي أعلى من أي غذاء بروتيني آخر . قيمة مخلوط الكازين وبروتين المصل أعلى من كل واحد منها على حدة لأنها مكملة لبعضها في تركيز بعض الأحماض الأمينية الأساسية .

يكون الكازين أعلى نسبياً من التيروزين والفينيل ألانين ، بروتين المصل من السيستين المحتوي على كبريت والميثونين بروتين لبن قليل . يمكن أن يسرع الـــ *PER* لغذاء يتكون من غذاء نباتي .

وظيفة غذائية أخرى للكازين هي أنه يمكن أن يحصر كميات كبيرة من مغذيات هامة مثل البوتاسيوم والفوسفات ، تساعد هذه الخاصية على إمداد العجل بالمواد البانية للعظام ، وهي أيضاً لتغذية الإنسان . يمكن أن يكون للبروتينات تأثيرات غذائية خاصة عديدة ، قد تكون مضرة مثل تثبيط الإنزيمات المحللة للبروتين أو الإصابة بمرض تصلب الشرايين ، أو قد تكون مفيدة مثل النشاط ضد البكتيريا . من ناحية ثانية لم يذكر أبداً أية تأثيرات ضارة للإنسان من تناول اللبن .

وبالمثل لما ذكر أعلاه ، وجود الببتيدات النشـــطة بيولوجياً ، أو التتابع الببتيدي ، يمكن أن ينتج الهضـــم في الأمعاء ببتيدات ، أمكن التعرف على عديد من هذه التتابعات في بروتينات اللبن وخاصـــة في الكازين . ومن المعروف أن هناك وجود للكازينومورفينات من البيتا كازين ، والتي لها خواص أفيونية ويمكن أن تســـبب النوم . وبعضـــها يثبط الإنزيم المحول للأنجيوتينســـين *ACE* *Angiotensin-Converting enzyme* ، وعلى ذلك سوف ينخفض ضغط الدم . وهناك أيضاً ببتيدات تحتوي على *Serp* ، يمكن أن تساعد على امتصاص الكتيونات ثنائية التكافؤ في الأمعاء الدقيقة . تم تحقيق جميع هذه الأنشطة في دراسات معملية ، ولكن لم يتم بعد الحصول على شواهد إكلينيكية لتأثيرات معنوية في الإنسان .

بعض الأشـــخاص لديهم اســتجابات حســاســية لنوع أو أكثر من البروتينات ، تختلف الأعراض بشكل واسع من أعراض طفيفة مثل التهاب الأنف *rhinitis* أو الإسهال *diarrhea* إلى أعراض خطيرة مثل التهاب الجلد *dermatitis* والربو *Asthma* .

ويمكن أن تتكون لدى حوالي 2% من الأطفال حساسية للبن الأبقار ، ولكن بعضاً من هذه الحالات تكون أقل حساسية بتقدم السن ، يمكن أن تسبب كل من الكازين وبروتينات المصل تفاعلات حســـاســية . ولكن يبدو أن البيتا لاكتوجلوبيلين هي العامل الأكثر شـــيوعاً في اللبن ، ويمكن أن تقلل الدنترة بالحرارة خاصة الحساسية ، التحلل المائي الكبير للبروتين هو أكثر فاعلية ، ولا يقلل استبدال لبن الأبقار بلبن الماعز عادة تفاعل الحساسية .

5.2 الإنزيمات *ENZYMES*

يحتوي اللبن على عدد لا حصـــر له من الإنزيمات ، الإنزيمات الطبيعية أي التي أفرزت بواســـطة الغدد اللبنية ، يمكن أن تشـــمل عدداً من الإنزيمات الموجودة في كريات الدم البيضـــاء *leukocytes* مثل الكاتاليز *Catalase* بالإضـــافة إلى ذلك ، الإنزيمات ذات الأصـــل الميكروبي ، يمكن أن تتضمنها . يمكن أن توجد هذه الإنزيمات في الكائنات الدقيقة وتفرز بواسطة الكائن الحي (مثل البروتينيز *Proteinase* والليباز *Lipases*) أو ســـتتحرر بعد التحلل . يمكن أن توجد

الإنزيمات الطبيعية في أماكن مختلفة في اللبن ، تكون كثير منها مرتبطة مع غشاء كريات الدهن ، ليس هذا مدهشاً ، على اعتبار أن أغلب الأغشية أصلها من غشاء الخلية القمية *Apical cell membrane* التي تحتوي على إنزيمات عديدة ، تكون إنزيمات أخرى في المحلول أي منتشرة في المصل ، ولكن بعضاً من هذه الإنزيمات (مثل الليباز الليبوبروتيني) يكون مرتبطاً جزئياً بجسيمات الكازين .

يبدو أن أغلب إنزيمات اللبن ليس لها وظيفة بيولوجية في اللبن ، حتى لو كانت موجودة بتركيزات عالية (مثل الريبونيكلييز *Ribonuclease* جدول 16.2) .

لا تغير هذه الإنزيمات عادة اللبن معنوياً . بعض الإنزيمات لها وظيفة مضادة للميكروبات أو تلعب أدواراً أخرى مفيدة . يمكن أن تسهل قليل من هذه الإنزيمات امتصاص مكونات اللبن داخل الدم إذا أو متى توقفت عملية الحلب مثل البلازمين والليبيز اللذان لا يكونان نشطين للغاية في اللبن الطازج بالرغم من وجودهما بتركيزات عالية (جدول 16.2) . يمكن أن تسبب هذه الإنزيمات وإنزيمات أخرى فساد اللبن أثناء التخزين ، تستخدم بعض الإنزيمات لأغراض تحليلية . سابقاً استخدم الكاتاليز لكي نكتشف مرض التهاب الضرع ، ولكن العلاقة ضعيفة للغاية *N*– أسيتيل– *D-B* جليكوزامينيديز (انظر 30.1.2.3) وتسمى أيضاً *NAGase* ويعتبر الآن علامة جيدة بالرغم من أنه لا يوجد علاقة كاملة مع التهاب الضرع ، بالإضافة إلى ذلك تستخدم إنزيمات معينة لمراقبة عملية البسترة ، وقد تمت مناقشة بعض الأمثلة على إنزيمات اللبن الطبيعية وعملها في تحت جزء 2.5.2 .

1.5.2 نشاط الإنزيم *Enzyme Activity*

إن خواص المحلول تحكم بالأنشطة أكثر من التركيزات ، وينطبق هذا بالتأكيد على الإنزيمات ، يرمز للمعدل الأقصى للمحفز بالرمز *K* أي عدد جزيئات المادة الخاضعة لفعل

جدول **16.2** بعض الإنزيمات في اللبن

Inactivation التثبيط	Where in Milk	Activity النشاط Actual	Potentil	Optimum الدرجة المثلى Temperature (°C)	pH	EC Number	Name الاسم
7 min 73C	Fat globule membrane	40	>>40	37	~8	1.1.3.22	Xanthine oxidase
3min 73C	Plasma	?	?	~45	~7	1.8.?	Sulfnydryl oxidase
2min73C	Leukocytes	300	?	37?	7	1.11.1.6	Catalase
10min73C	Serum	22000	?	20	6.5	1.11.1.7	Lactoperoxidase
65min75C	Plasma	?	~2000	37?	?	1.15.1.1	Superoxide dismutase
30s73C	Casein micelles	0.3	3000	33	-9	3.1.1.34	Lipoprotein lipase
20s73C	Fat globule membrane	<<500	500	37	-9	3.1.3.1	Alkaline phosphatae
?	Serum	?	(c)	37	7.5	3.1.27.5	Ribomuclease
40min73C	Casein micelles	0.05	3	37	8	3.4.21.7	Plasmin

a. ميكرومول . دقيقة$^{-1}$. لتر$^{-1}$.

b. معاملة حرارية لازمة لتقليل النشاط إلى 1% تقريباً .

c. 11-25 مليجرام إنزيم/كيلوجرام لبن .

a. μmol.min^{-1} . r^{1}.

b. Heat treatment needed to activity to approximately 1% .

c. 11-25 mg enzyme per kg of milk.

المادة الخاضعة *sub-strate* لكل جزيء إنزيم في الثانية ، إذا كانت المادة الخاضعة لفعل الإنزيم متوفرة وظروف عمل الإنزيم مثالية (الأس الهيدروجيني ، درجة الحرارة ، القوة الأيونية ، وعوامل أخرى مؤثر على النشاط الإنزيمي) . يعرف معدل التحول (الانقلاب) الكلي بالرمز $[E]K_{cat} = V_{max}$ حيث أن $[E]$ = تركيز الإنزيم . وتبعاً لميكائيلي وميتين *Michaelis and Menten* سرعة التفاعل كدالة عن تركيز المادة الخاضعة لفعل الإنزيم $[S]$ تكون :

$$V_i = V_{max}[S]/(Km+[S]) \qquad (2.5)$$

مثال للعلاقة تم ذكرها في شكل *a*29.2 . ثابت ميكائيلي *Km* هي مقياس لقابلية إنزيم على مادته الخاضعة *substrate* (كلما انخفضت *Km* كلما كانت القابلية *affinity* أكبر) وتعتمد على نوع المادة الخاضعة المستخدمة وبذلك تكون المتغير الثاني لـ K_{cat} . *Km* نعني تركيز المادة الخاضعة عندما تكون $V_{max}/2 = V_i$.

المعادلة 5.2 تستخدم فقط للسرعة الابتدائية للتفاعل V_1 لأن منتجات التفاعل يمكن أن تثبط التفاعل (تثبيط المنتج) بالإضافة إلى ذلك فإن تركيز المادة الخاضعة يقل أثناء التفاعل .

عوامل إضافية يمكن أن تؤثر على نشاط الإنزيم هي :

أ- بالإضافة إلى ما ذكر أعلاه ، منتجات التفاعل ، يمكن أن تثبط مواد عديدة نشاط الإنزيم ، لأن هذه المواد تتحد أيضاً مع الإنزيم (تثبيط منافس) أو لأنها تؤثر على تعديل شكل جزيء الإنزيم .

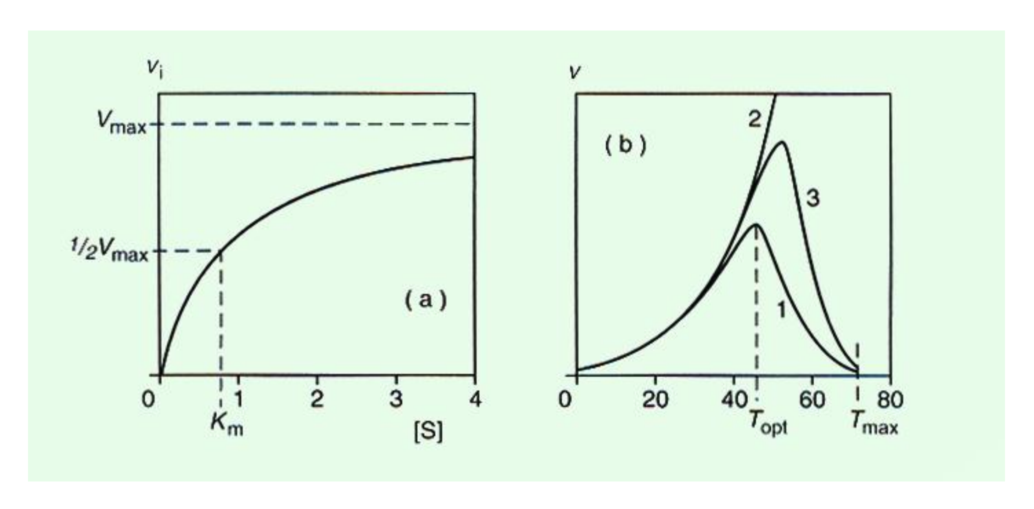
ب- لا تستخدم المعادلة (5.2) في الإنزيمات المسماة *Allosteric* . لن نناقش في هذا الخصوص أكثر من ذلك .

ج- تحتاج إنزيمات كثيرة عاملاً مساعداً "*Cofactor*" مثال ذلك الأبوبروتين C_2 والذي يكون ضرورياً لعمل الليبيز *Lipoprotein lipase* . يختلف تركيز العوامل المساعدة في اللبن .

د- يمكن أن توجد بعض المحفزات التي تثبط عمل المثبط .

هـ- يمكن أن تحجب عنه المادة الخاضـعة للإنزيم ، مثال ذلك الجلسـريدات الثلاثية التي تحجب عن الإنزيمات في اللبن بواسطة غشاء كرية الدهن .

و- يمكن أن يحدث للإنزيم ادمصـــاص ***adsorbed*** على الجزيئات ، وبذلك يصـــبح أقل نشـــاطاً ، ويحدث لبعض الإنزيمات (الليبيزات ***Lipases*** ، والإنزيمات المحللة للبروتين ***Proteinases***) ادمصاص على جسيمات الكازين .



شـــكل 29.2 علم حركة الإنزيمات (a) تأثر تركيز المادة الخاضـــعة لفعل الإنزيمات [s] على معدل التفاعل الابتدائي ***Vi*** طبقاً للمعادلة 5.2 (b) تأثير درجة الحرارة *T* درجة مئوية على معدل التحلل البروتيني *V* الذي يســـببه البلازمين . المنحنى 1 ناتج أثناء 30 دقيقة من التفاعل ، المنحنى 2 تم امتداده إلى درجة الحرارة العالية *T* على افتراض ثبات طاقة التنشيط والمنحنى 3 نتائج تقريبية أثناء دقائق قليلة

Figure 2.29 Enzyme kinetics. (a) Effect of substrate concentration [S] on the initial reaction rate vi, according to Equation 2.5. (b) Effect of temperature T (°C) on the rate v of proteolysis caused by plasmin. Curve 1, results obtained during 30 min of reaction; 2, extrapolated to high T, assuming the activation energy to be A. Metwalli et al., Int. Dairy J., 8, 47, 1998)

ز- يمكن أن يوجد الإنزيم في صورة غير نشطة ، ويسمى زيموجين *zymogen* ثم ينشط ببطء ومثال على ذلك البلازمين والموجود بكثرة في اللبن على هيئة بلازمينوجين غير نشط .

ح- يمكن أن يحدث للإنزيم تثبيط ببطء مثل إنزيم الليباز ليبوبروتين الموجود في اللبن ، يفقد نشاطه بسبب تفاعل أكسدة .

2.5.2 بعض إنزيمات اللبن *Some Milk Enzymes*

1.2.5.2 الإنزيمات المضادة للبكتيريا *Antibacterial Enzymes*

الممثل الرئيسي هو لاكتوبيروكسيديز (1.11.1.7) يحفز التفاعل :

$$H_2O_2 + 2HA \rightarrow 2H_2O + 2A$$

حيث أن المادة الخاضعة لفعل الإنزيم *HA* يمكن أن تشتمل على مركبات عديدة : أمينات عطرية *aromatic amines* ، فينولات *phenols* ، فيتامين *C* وغيرها . يمكن أيضاً أن يحفز الإنزيم أكسدة الثيوسيانات (*CNS*) بواسطة H_2O_2 إلى مركب مجهول *unidentified* يثبط أغلب البكتيريا . إذا كانت البكتيريا تنتج H_2O_2 كما تفعل بكتيريا حامض اللكتيك ، فإنها تثبط بالإنزيم . (في اللبن تحلل H_2O_2 بواسطة إنزيم الكاتاليز *Catalase* 1.11.1.6 ، يكون ضعيفاً للغاية لكي تمنع ذلك) . ولكن تركيز الثيوسيانيت في اللبن يختلف بشكل واسع لأنها تعتمد على محتوى السيانو جلبكوذيدات *Cyanoglucoside* في الغذاء ، وفي بعض الأحيان يضاف الثوسيانيت مع قليل من H_2O_2 إلى اللبن الخام لكي نمنع الفساد . بهذه الطريقة ، حتى في مناخ دافئ يمكن أن يتأخر فساد اللبن لساعات عديدة . في اللبن فعل نظام الثيوسيانيت–بيروكسيد الهيدروجين–لاكتوبيروكسيديز (الذي يحدث أيضاً في اللعاب) يمكن أن يسرع بواسطة الزانثين أوكسيديز والتي يمكن أن تكون H_2O_2 من بعض المواد الخاضعة لفعل الإنزيمات .

ليزوزيم *Lysozyme* انظر (17.1.2.3) هو إنزيم آخر قاتل للبكتيريا يحلل مائياً عديدات التسكر الموجودة في جدران الخلايا البكتيرية ، محدثاً تحللاً للبكتيريا (انظر أيضاً فصل 26.2) . في لبن الأبقار يكون نشاط الليزوزيم ضعيفاً ، يكون في لبن الإنسان أكثر قوة .

2.2.5.2 أوكسيدوريدكتيزات *Oxidoreductases*

زانثين أوكســـيديز *Xanthine oxidase* (انظر 22.3.1.1) يمكن أن يحفز أكســـدة مواد مختلفة ، يمكن أن تكون مواد كثيرة شاملة غاز الأكسجين مستقبلة للهيدروجين ، ويمكن أن يختزل الإنزيم النيترات (والذي يوجد في اللبن فقط بكميات ضـئيلة) إلى نيتريت *Nitrite* . تسـتخدم هذه الخاصـية في تصـنيع بعض الأجبان ، حيث تضـاف النيترات *Nitrate* إلى اللبن لتمنع تكاثر بكتيريا حامض البيتيريك *butyric acid bacteria* (فصـل 26.2) . تثبط النيتريت هذه البكتيريا إذا أضـيفت النيترات إلى اللبن ، يكون النيتريت موجوداً بكميات كافية في الجبن ، ولكنها تتفكك بســـرعة . يحتوي لبن البقر على محتوى عالٍ نسبياً من زانثين أوكسيديز ، تكون أغلب الإنزيمات متصلة بغشاء كريات الدهن . وبســـبب بذلك تكون نشـــطة جزئياً فقط ولكن النشـــاط يزداد بواســـطة هذه المعاملات مثل التبريد والتجنيس ، والتي يمكن أن تحرر إنزيمات من الغشاء سوبر أوكسيد ديسمبتيز *Superoxide dismutase* (انظر 1.1.15.1) يحفز أكســـدة جزيء واحد وفي الحال يختزل جزيئاً آخر *dismutation* من أنيون ســوبر أوكســيد $O_2'^-$ إلى هيدروجين بيروكســيد H_2O_2 وأكســجين ثلاثي *triplet oxygen* حسب المعادلة :

$$2O_2'^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + 3O_2$$

يكون الإنزيم في اللبن مشـــابهاً أو مطابقاً للموجود في الدم . وظيفته البيولوجية هي حماية الخلايا من التحطم نتيجة عمليات الأكســـدة . في اللبن يمكن لأنيون ســـوبر أوكســـيد أن يتحرر عن طريق الأكســـدة المحفزة بواســـطة زانثين أوكســـيديز واللكتوبيروكســـيديز *Xanthine oxidase* و *lactoperoxidase* وبواسـطة الأكسـدة الضـوئية للريبوفلافين . يثبط سـوبر أوكسـيد ديسـميتيز أكسدة محتويات اللبن ، ويفترض أن يبطل الإنزيم الأكسدة الذاتية للدهون (تسبب هذه الأكسدة نكهـات غير مرغوب فيهـا (انظر فصـــل 3.2) ولا يبطـل هـذا الفعـل بواســـطـة البســـترة المنخفضة .

سـيلفهيـدريـل أوكسـيـديز (الإنزيم المؤكسـد لمجموعـة الكبريـت المهـدرج) *Sulfhydryl oxidase* (تحت جزء 7.8.1) يحفز أكسدة مجموعات الكبريت المهدرج إلى ثنائي السلفيد *disulfides* باستخدام الأكسجين كمستقبل للإلكترون .

$$2\ RSH + O2 \rightarrow RssR + H_2O_2$$

مجموعات *SH*- لكل من مركبات الكتلة المولارية العالية والمنخفضـة تتفكك ، يكون أغلب الإنزيم مرتبطاً بجزيئات البروتين الدهنية (ليبوبروتين *lipoprotein*) . تثبط عملية البسترة الإنزيم جزئياً . يمكن للإنزيم في اللبن المبستر أن يكون أساسياً في تقليل نكهة الطبخ *cooked flavor* التي سببتها المركبات الكبريتية المهدرجة *SH compounds* . يعتبر اللاكتوبيروكسـيديز *Lactoperoxidase* (انظر أعلاه) أيضاً من إنزيمات الأكسدة – الاختزال *Oxidoreductase* .

3.2.5.2 إنزيمات الفوسفاتيز *Phosphatases*

توجد في اللبن فوسـفاتيزات عديدة ، والفوسـفاتيز القاعدي هو الأكثر معرفة في اللبن (تحت جزء 1.3.1.3) والذي يحفز التحلل المائي للأسـترات الفوسـفورية الأحادية *Phosphoric monoesters* . عادة ، تحديد أنشطة الإنزيم بواسطة "تجربة نشاط الفوسفاتيز" تستخدم لقياس البسـترة المنخفضـة للبن ، يؤكد تثبيط الإنزيم أن كل الكائنات الدقيقة الممرضـة (هذه الكائنات تستطيع أن تنمو في اللبن) موجودة في اللبن أثناء التسـخين قد تم قتلها . ولكن ليس كل بكتيريا حامض اللاكتيك والعصـى سـالبة الجرام قد تم أيضـاً قتلها . توجد أغلب الإنزيمات في أغشـية الكريات الدهنية ، ولذلك تكون تجربة الفوسفاتيز أقل حساسية عندما تستخدم في اللبن الفرز .

يحتوي اللبن أيضاً على إنزيم الفوسفاتيز الحامضي *Acid phosphatase* (تحت جزء 2.3.1.3) ، توجد في المصـل وتكون مقاومة للحرارة (انظر شـكل 31.2) . تحفز هذه الفوسـفاتيزات التحلل المائي لإسترات فوسفورية معينة في اللبن ولكن ببطء ، تستطيع فوسفاتيز أخرى إطلاق مجموعات حامض الفوسفوريك التي حدث لها أسترة مع الكازين .

4.2.5.2 الإنزيمات المحللة للدهن *Lipolytic Enzymes*

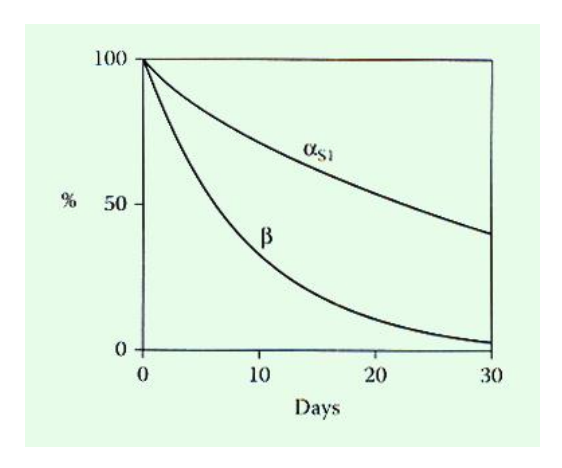
إن بعض الإستيريزات *esterases* التي تستطيع أن تحلل إسترات حامض دهني توجد في اللبن ، تهاجم بعض منها الإسترات في المحلول ، ولكن الإنزيم المحلل الرئيسي في لبن الأبقار أي الليبيز ليبوبروتين *Lipoprotein lipase* (تحت جزء 34.1.1.3) تحرر أحماض دهنية من جلسريدات ثلاثية وثنائية وتكون نشطة فقط عند الوجه بين الماء-الزيت . وهي ترتبط بصورة كبيرة مع جسيمات الكازين . يسبب تحلل الدهن في اللبن نكهة غير مرغوبة (تزنخ صابوني) وسوف يناقش ذلك في تحت جزء 5.2.3 .

5.2.5.2 الإنزيمات المحللة للبروتين *Proteinases*

يوجد إنزيمان في اللبن ، على الأقل من الببتيديزات الداخلية *Endpeptidases* الشبيهة بالتربسين . واحد منها هو ما يسمى بروتينيز اللبن القاعدي الذي يمثل البلازمين في الدم (انظر 7.21.4.3) . يكون أغلب البروتينيز القاعدي الموجود في اللبن في صورة البلازمينوجين غير النشط . يكون الإنزيم متصلاً بجسيمات الكازين ، يختلف نشاطه في اللبن بشكل واسع جزئياً ، لأن النسبة مختلفة بين البلازمين والبلازمينوجين . يزداد عادة النشاط مع الوقت ومع التسخين ، أي عملية البسترة ، والسبب في ذلك أن اللبن يحتوي على محفز أو أكثر يحفز التحليل المائي للبلازمينوجين ليعطي بلازمين . بالإضافة إلى ذلك ، يحتوي اللبن على الأقل على مادة تثبيط المحفزات ، يثبط المثبط بالمعاملات الحرارية . ويظهر أيضاً أن كريات الدم البيضاء تحوي محفزاً . واللبن الذي به عدد عالٍ من الخلايا الجسمية *Somatic cell* عادة ما يبدي نشاط بلازمين عالي .

يمكن للبلازمين أن يحلل البروتين ليعطي منتجات تحلل كبيرة ، وهو مسئول عن إنتاج δ- كازين ووبروتيوز-بيتونات من β- كازين ، يسبب الإنزيم تحلل البروتين في بعض المنتجات مثل الجبن . في منتجات الجبن المعاملة بـــ *UHT* (المعاملة الحرارية الفائقة) (شكل 30.2) يسبب فعل الإنزيم المحلل للبروتين طعماً مراً ، ويمكن أن يذوّب جسيمات الكازين . لوحظ في بعض الحالات تكون عملية جلتنة *Gelation* والسبب في ذلك أن الإنزيم حساس للغاية بالحرارة (شكل 31.2) .

وبناء على ذلك يجب استخدام معاملة الحرارة الفائقة *UHT* (140 درجة مئوية لمدة 15 ثانية) لكي نمنع هذه المشاكل . يوجد أيضاً في اللبن بروتينيز اللبن الحامض ، ولو أن نشاطه قليل ، الإنزيم أقل حساسية للحرارة عن البلازمين .



شكل 30.2 عمل البلازمين في α_{s1} و β كازين في اللبن عند 20 درجة مئوية . نسبة الكازين كدالة لوقت التخزين . اللبن تم تسخينه لمدة 5 ثواني عند درجة 134 درجة مئوية

Figure 2.30 Plasmin action on α_{s1}- and β-casein in milk at 20°C. Casein left (in %) as a function of storage time. The milk had been heated for 5 s at 134°C. (Adapted from results by F.M. Driessen, Ph.D. thesis, Wageningen, 1983)

3.5.2 التثبيط *Inactivation*

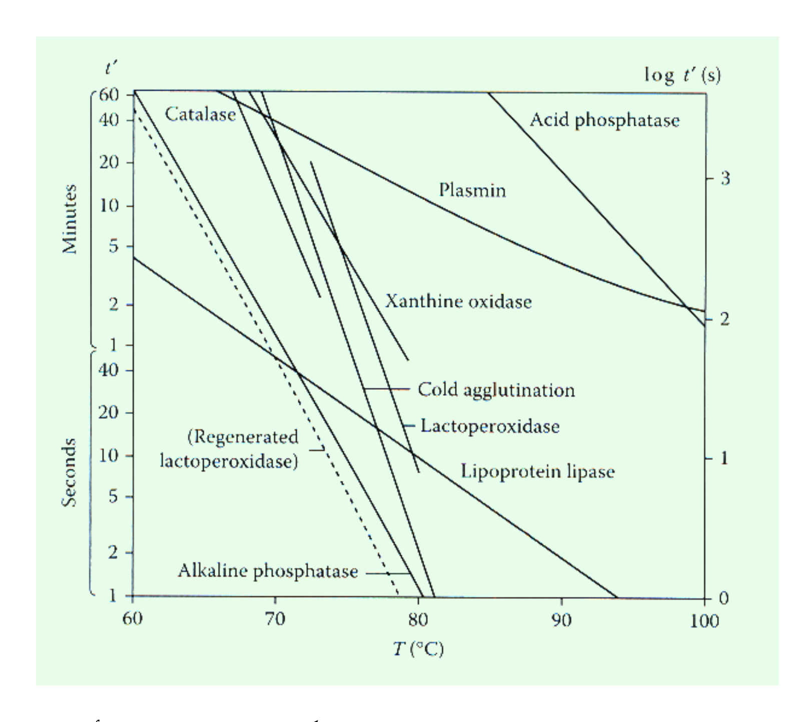
لكي نثبط الإنزيمات ، تستخدم المعاملة الحرارية ، ينتج التثبيط عن دنترة (عدم انطواء *unfolding*) جزيء الإنزيم . ستناقش طاقات التفاعلات التي سببتها الحرارة في فصل 3.6 ، تم توضيح علاقة وقت التسخين– الحرارة لتثبيط الإنزيمات المختلفة في اللبن في شكل 31.2 ، يكون التثبيط بالمعاملة الحرارية ذا أهمية كبيرة لأن :

أ- الإنزيمات التي تسبب الفساد يمكن تثبيطها .

ب- الأنظمـة التي تثبط نمو البكتيريا يمكن أن تثبط ، ويمكن أن يكون هـذا إمـا مرغوب أو غير مرغوب فيه .

ج- الإنزيمات المثبطة للفســاد *Spoilage inhibiting enzymes* (مثل إنزيم ســوبر أكســيد ديزميوتيز *Superoxide dismutase*) يمكن أن يثبط .

د- يمكن أن تختبر شــدة عملية بســترة اللبن ، البســترة المنخفضــة من خلال إنزيم الفوســفاتيز القاعدي والبسترة العالية من خلال إنزيم لاكتوبيروكسيديز .



شكل 31.2 وقت (t) ودرجة الحرارة (T) اللبن المسخن التي يحتاجها لكي نثبط بعض الإنزيمات (أي نقلل النشاط بحوالي 99%) ولكي نمنع التلزن البارد . أمثلة تقريبية

Figure 2.31 Time (t') and temperature (T) of heating milk needed to inactivate some enzymes (i.e., reduce the activity by about 99%) and to prevent cold agglutination. Approximate examples. (Modified after P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, New York, Wiley, 1984)

يمكن أن يعتمد معدل التثبيط بالمعاملة الحرارية على الظروف ، مثل الأس الهيدروجيني ، وعلى وجود أو غياب المادة الخاضعة للإنزيم . وبالإضافة إلى ذلك ، أيزوزيمات مختلفة *Isozymes* (أي متغيرات جينية لإنزيم واحد) والتي تختلف في حساسيتها للحرارة ويمكن أن تدخل في هذا الإطار . وغالباً ما تسبب منحنى بيانياً للعلاقة بين لوغاريتم وقت التسخين ودرجة الحرارة .

تعقيد آخر هو إعادة تنشيط الإنزيم ، والذي يعني أن الإنزيم المثبط بالحرارة يرجع إلى الشكل النشط بعد التبريد . إنزيمات كثيرة لا تظهر فيها ظاهرة إعادة التنشيط . بينما إنزيمات أخرى تفعل ذلك ببطء . أمثلة ذلك إنزيم الفوسفاتيز القاعدي الذي يصبح نشطاً مرة أخرى جزئياً بعد أيام قليلة من المعاملة الحرارية ، وخاصة في القشدة (بسبب محتوى إنزيم الفوسفاتيز العالي) واللاكتوبيروكسيديز . إنزيم اللاكتوبيروكسيديز المعاد تنشيطه يكون أيضاً خاضعاً للحرارة *heat-labile* أكثر من الإنزيم الأصلي (شكل 31.2) . بعض الإنزيمات يعاد تنشيطها بسرعة كبيرة بعد التبريد . ونتيجة لذلك يبدو كأن المعاملة الحرارية ليس لها أي تأثير على نشاط الإنزيم . ومن جهة أخرى يمكن أن يكون التسخين شديداً لدرجة أن جزيء الإنزيم غير المطوي *unfolded* قد تفاعل لدرجة أن إعادة تنشيط الإنزيم يكون غير ممكن أكثر من ذلك . وعادة ما يكون الرسم البياني للتثبيط منحنياً ليس شديد الانحدار ، وتكون درجات الحرارة والوقت الممتد الطويل مطلوبين . مثال في شكل 31.2 هو بلازمين . البديل هو أن الإنزيمات يمكن أن تثبط بواسطة عمليات الأكسدة ، في بعض الأحيان بواسطة التهوية الزائدة . ونادراً ما يكون للتجنيس تأثير معنوي .

ويمكن أن نلاحظ أن نشاط الإنزيم ينخفض بعد معاملات معينة أو تحت ظروف معينة لا يعني بالضرورة أن هذا الجزء من الإنزيم تم تثبيطه . يكون النشاط النوعي للإنزيم أي K_{cat} منخفضاً عند ظروف غير ملائمة ، مثل الأس الهيدروجيني ، درجة الحرارة ، القوة الأيونية وغيرها أو يكون نتيجة وجود مثبطات .

6.2 مكونات أخرى *Other Components*

الجزءان 1.2 , 4.2 يتعاملان مع المكونات الرئيسية في اللبن (ماعدا الماء) والتي تكون المركب الأساسي . تكون مركبات أقلية عديدة موجودة أيضاً ، ولكنها ليست بالضرورة غير مهمة في جميع الحالات . عدد المركبات التي تم التعرف عليها في اللبن كبير ، وسوف يزداد بزيادة الأبحاث والتحسينات في حساسية الطرق التحليلية . وليس مؤكداً من أن هذه المكونات توجد كما هي أو مرتبطة كيميائياً . وفي بعض الأحيان تتغير المركبات أثناء فصلها وتحليلها .

تكون المركبات الأخرى جزءاً "طبيعياً" وتكتسب وجودها في اللبن بواسطة التلوث عن طريق تغيرات إنزيمية أو ميكروبية أو بواسطة تغيرات تسببها العمليات التصنيعية . هنا يمكن أن يزداد المكون في التركيز بزيادة التلوث .

1.6.2 المركبات الطبيعية *Natural Components*

أغلب هذه المركبات أصلها من الدم أو مركبات وسطية لعمليات أيضية في خلية إخراجية ، سوف نستعرض هنا بعض المجموعات من المركبات ، تم تجميعها عشوائياً ومركبات عديدة تتبع لأكثر من فئة واحدة .

1. أحماض عضوية ، بالإضافة إلى حامض الستريك (جزء 2.2) والأحماض الدهنية ذات الكتلة المولارية المنخفضة (جزء 3.2) ، توجد كميات صغيرة من أحماض عضوية أخرى (مثل كميات ضئيلة من حمض اللاكتيك والبيروفيك) في مصل اللبن . الفعل البكتيري يمكن أن يزيد تركيز هذه الأحماض .
2. الكربوهيدرات ، بالإضافة إلى اللاكتوز يحتوي اللبن على آثار من الجلوكوز ، الجلاكتوز ، وسكريات سكريات الأوليجو *Oligossaccharides* ، بالإضافة إلى ذلك يحتوي اللبن على مشتقات سكرية عديدة ، في كميات ضئيلة : هكسوز أحادي الفوسفات ، هكسوزأمين وأخرى كثيرة . يكون جزء كبير من هذه المركبات مرتبط بمركبات أخرى مثل البروتينات ($K-$ كازين ، بروتينات أغشية الكريات الدهنية وسيريبروزيدات *cerebrosides*) .

3. مركبات نيتروجينية ، يكون حوالي 5% من النيتروجين الكلي في اللبن نيتروجيناً غير بروتيني (*NPN*) . وتم جمع مجموعات من البروتين غير البروتيني في جدول 17.2 . تكون هذه المركبات منتجات وسطية جزئياً لأيض بروتين الحيوان (مثل الأمونيا ، اليوريا ، الكرياتين ، الكرياتينين ، حامض اليوريك) . توجد أغلب الأحماض الأمينية ومشتقاتها (الأمينات ، سيرين حامض الفوسفوريك) حرة بكميات ضئيلة في المحلول . ويحتوي اللبن أيضاً على ببتيدات صغيرة . يمكن أن تكون هذه المركبات مغذيات رئيسية لبعض البكتيريا .

4. توجد جميع الفيتامينات المعروفة في اللبن .

5. إسترات فوسفات *Phosphate esters* انظر أيضاً جزء 2.2 . أمثلتها هي هكسوز فوسفات *hexose phosphates* وجليسرول فوسفات *Glycerol phosphate* .

6. أحماض ريبونووية *Ribonucleic acid* ومنتجاتها المنحلة مثل إسترات الفوسفات والقواعد العضوية ، بالإضافة إلى ذلك حامض أوروتيك *Orotic acid* الموجود في لبن الحيوانات المجترة ، وهو عامل نمو للبكتيريا لاكتوباسيلس ديلبريكي *Lactobacillus delbrueck ii* ssp. .

7. إسترات حامض الكبريتيك *Sulfuric acid esters* يوجد فقط إندوكسل سلفات *Indoxyl sulfate* في اللبن .

8. مركبات كربونيلية *Carbonyl compounds* . مثال لها هو الأسيتون ، ويوجد إذا عانت البقرة من مرض الكينوزيس *ketosis* . الألدهيدات والكيتونات الذائبة في الدهن ذكرت في جزء 4.3.2 وجدول 7.2 .

9. ليبيدات عديدة *Several lipids* انظر جزء 2.3.2 .

10. العناصر النادرة *Trace elements* انظر جزء 2.2 .

11. الغازات في اللبن ، تكون كمية النيتروجين حوالي 16 مليجرام.كيلوجرام$^{-1}$ وكمية الأكسجين حوالي 6 مليجرام.كيلوجرام$^{-1}$ أو حوالي 1.3% و 0.4% بالحجم على التوالي ، يكون اللبن مشبعاً بالنسبة للهواء ، إلا أنه يحتوي على ثاني أكسيد الكربون أكثر نسبياً في شكل بيكربونات

(جزء 2.2.2) . يكون محتوى اللبن من الأكسجين وهو في الضرع أقل ، أي حوالي 1.5 مليجرام ، كيلوجرام-1 .

12. الإنزيمات انظر جزء 5.2 .

13. الهرمونات ، توجد هرمونات عديدة بكميات ضـــئيلة في اللبن ، مثال ذلك البرولاكتين *Prolactin* ، سوماتوتروبين *Somatotroping* و الاسترويدات *Steroids* .

جدول 17.2 المركبات النيتروجينية غير البروتينية في اللبن

Table 2.17 Nonprotein Nitrogenous Compounds in Milk

Compound المركب	Concentration,mg per kg of Milk	
	Nitrogen[a] النيتروجين	Total Mass[b] الكتلة الكلية
Urea اليوريا	84-280	250
Creatine الكرياتين	6-20	30
Creatinine الكرياتيني	2-9	10
Uric acid حمض اليوريك	5-8	18
Orotic acid حمض الأورنتك	4-30	70
Hippuric acid حمض الهيبريك	4	13
Thiocyanate سبوثياتات	0.2-4	1
Ammonia الأمونيا	3-14	10
A – حامض أميني A-Amino acids	29-51	280
Peptides الببتيدات	30[c]	
المركبات النيتروجينية غير البروتينية الكلية Total NPN	230-310	

a. مدى متوسط للمحتويات المذكورة .

b. المتوسط ، تقريبي للغاية .

c. تعتمد كثيراً على طريقة التحليل .

[a] *Approximate range of contents reported.*
[b] *Average, very approximate.*
[c] *Greatly depends on analytical method.*

14. الخلايا الجسمية *Somatic cells* مع جميع المكونات التي تحتوي عليها (تحت جزء 1.7.2) .

بالإضـافة إلى المركبات التي سبق ذكرها ، يحتوي اللبن على مركبات عديدة أخرى ، فمثلاً يحتوي اللبن على 3 مليجرام إيثانول لكل كيلوجرام (تنتج البقرة في العام كمية من الإيثانول تكفي لملأ زجاجة من الخمر (النبيذ *wine*) .

2.6.2 الملوثات *Contaminants*

في الأســـاس ، تكون عدد المركبات التي يمكن دخولها إلى اللبن بواســـطة التلوث لا نهاية لها . وهناك اهتمام كبير بالمركبات التي يمكن أن تكون ضارة للمستهلك وذلك لسميتها المحتملة أو لإحداثها طفرات . بالإضــافة إلى ذلك يمكن أن تكون لدى بعض الناس حســاســية لمركبات مثل المضادات الحيوية . ولقد تركزت الدراسات على الملوثات التي تسبب تأثيرات غير مرغوب فيها أثناء تصنيع أو تخزين اللبن أو المنتجات اللبنية .

توجد مسارات عديدة تدخل بواسطتها الملوثات إلى اللبن . بعضها يمكن أن يدخل اللبن بأكثر من طريقة .

1. مرض البقرة ، مثل التهاب الضــرع الحاد يســبب مركبات دموية وخلايا جســمية تدخل اللبن (جزء 7.1.3.1) .
2. أدوية وعقاقير صــيدلانية والتي يتم إعطاؤها للبقرة ، المضـــادات الحيوية تســتخدم بشـــكل واســع . ويتم إدخالها إلى الضــرع لمعالجة التهاب الضــرع ، وقد تم التعرف على هذه المواد في اللبن 3 أو 4 أيام بعد تناولها . يمكن أن تقلل المضـــادات الحيوية في اللبن فعل بكتيريا حامض الخليك ، يمكن أن تدخل بعض العقاقير اللبن من خلال الدم .
3. التغـذيـة ، تســـتطيع مواد كثيرة أن تـدخـل اللبن من خلال الغـذاء ولـذلـك فـإن البقرة تعمـل كمرشـــح . في بعض الأوقـات تتكســـر المواد جزئياً أولاً ، تقـدم القـائمـة التـاليـة أمثلة لذلك .

جدول 18.2 الفيتامينات في اللبن والجرعة اليومية الموصى بها (قيم تقريبية)

Table 2.18 Vitamins in Milk and Recommended Daily Intake (Approximate values)

Present in/at موجود في	RDI[a] الجرعة الموصى بها	Comcentration per kg of Milk تركيز كل كيلو جرام لبن	Chemical Name الاسم الكيميائي	Vitamin فيتامين
Fat	0.4-1	0.7-1.3 mg RE[b]	Retinol	A
Serum	0.5-1	0.5 mg	Thiamine	B_1
Serum	1-2	1.8 mg	Riboflavin	B_2
Plasma	18	8 mg[6]	Niacin+its amide	B_3
Serum	3-8	3.5 mg	Pantothenic acid	B_5
Serum	1-2	0.5 mg	Pyridoxine, etc.	B_6
Serum	100-200	20-40 µg	Biotin[d]	
Protein[6]	200-400	50-60 µg	Folic acid[d]	
Protein	1.5-2.5	4.5 µg	Cobalamin	B_{12}
Serum	40-70	10-25 mg	Ascorbic acid	C
Fat	2-10[f]	0.1-0.8 µg	Claciferois	D
Fat globules	5-10	1-1.5 mg	Tocopherrols	E
Fat	100-1000	10-50 µg	Menaquinone	K_2

a تختلف الجرعة اليومية التقريبية الموصى بها ، تختلف التوصية حسب السن . تم استبعاد الجرعات الخاصة ، الأطفال الرضع

b مكافئ فيتامين *A* ريتينول + بيتا كاروتين .

c مكافئ نياسين وتشتمل 1/60 مرة تريبتوفان موجود بكثرة في قيمة الجرعة الموصى بها .

d فيتامين ب .

e البروتينات المرتبطة بالفولات الخاصة .

f تعتمد الجرعة اليومية الموصى بها على تعرض الجلد لضوء الشمس .

a Approximate recommended daily intake. Recommendations vary, e.g. with age; those for b abies are excluded.
b Retinol equivalents; retinol+β-carotene/6.
c Niacin equivalents; includes 1/60 times tryptophan present in excess of its RDI value.
d B-vitamin.
e Specific folate-binding proteins.
f RDI gratly depends on exposure of the skin to sunlight.

الهيدروكربونات الكلورينية ، مثل مبيدات قاتلة للآفات (د.د.ت ، الألدرين ، الديلدرين) ؛ فينولات ثنائية عديدة الكلور *PCBS* ، والتي تستخدم بشكل واسع ، الديوكسين الذي يكون ضاراً للمستهلك حتى بتركيزات منخفضة للغاية ، تكون بعض من هذه المركبات ساماً أو مسرطناً ، وعلى سبيل المثال في لبن الأبقار التي تغذت على كميات كبيرة من الخضروات التي تم رشها بمبيدات قاتلة للآفات ، تكون هذه المواد محبة للدهن وبذلك تميل للتجمع في الدهن .

بعض المبيدات القاتلة للآفات *Pesticides* ، قاتلة للأعشاب *Herbicides* ، والقاتلة للفطريات *Fungicides* مثل إسترات حامض الفوسفوريك *Phosphoric esters* والكربامات *Carbamates* . إن أغلب هذه المكونات يتم تكسيرها في البقرة . السموم الفطرية *Mycotoxins* يمكن أن تنشأ من فطريات تنمو على مركزات الغذاء المقدم للبقرة ، مثل الأفلاتوكسينات الضارة . يخضع في بلاد كثيرة العلف لمتطلبات قاسية محددة .

المعادن الثقيلة ، الرصاص ، الزئبق ، والكادميوم يكون مشتبهاً فيها خاصة ، ولكن المستويات السامة لم توجد أبداً في اللبن ، لا تدخل أغلب المعادن الثقيلة اللبن لأن البقرة تعمل كمرشح ، إلا إذا تغذت على كميات عالية منه .

النيكليدات المشعة ، انظر جزء 3.6.2 .

4. أمثلة لمركبات قد تدخل اللبن أثناء عملية الحلب وتداول اللبن . تستطيع المواد القاتلة للآفات الوصول للبن من خلال الهواء ، أي عندما تستخدم الأيروسولات المحتوية على المبيدات . يمكن أن تسبب المواد البلاستيكية ، من البلاستيك أو مضادات أكسدة من المطاط ، أيونات المعادن وخاصة النحاس ، هذه النكهة غير المرغوبة عن طريق الأكسدة . مواد التنظيف والمطهرات التي قد تسبب نكهة غير مرغوبة وتقلل نشاط البادئات .
5. المواد المضافة لأغراض ما ، تضاف بعض الأوقات المطهرات للبن لكي نصل إلى عد مستعمرات منخفضة *Low colony count* وهذه تكون بالطبع عملية غش ، يمكن أن يقدر

الكلور النشـــط لكي نكشـــف هنا الغش ، إن الغش بالماء يمكن اكتشـــافه بتقدير نقطة التجمد .

3.6.2 النيكليدات المشعة *Radionuclides*

إن النظائر المشـعة النشـطة لبعض عناصـر تكون دائماً موجودة في اللبن ولكن بكميات ضـئيلة التي تخص خاصـة K^{40} . إذا كانت مياه الشـرب ملوثة بغبار ذري متسـاقط وتم بلعه بواسـطة البقرة ، فإن جزء من النيكليدات المشعة سوف يفرز في اللبن ، بالرغم من أن البقرة تعمل كمرشـح جيد ، فمثلاً يدخل جزء صغير اللبن من الاسترنشيم النشط المشع المبلوع ، ولكن جزءاً أكبر بكثير من اليود المشع ^{131}I .

جدول 19.2 يسـرد نيكليدات مشـعة والتي قد تكون الأكثر ضـرراً للمسـتهلك ، والذي يمكن أن يدخل اللبن . يكون الاسـترنشـيم المشع ^{90}Sr ذا أهمية كبيرة ، لأن نصـف العمر البيولوجي والفيزيائي يكون طويلاً ، يشـير نصـف العمر الفيزيائي إلى الفترة المطلوبة لكي يقل انبعاث النشـاط المشـع بواسـطة نظير مشـع إلى نصـف مسـتواه الأصـلي . يشـير نصـف العمر البيولوجي إلى الفترة الزمنية اللازمة لنصـف كمية مركب تم بلعه حتى يخرج من الجسـم . ويعتمد ذلك كثيراً على الظروف المتواجدة . يشير الجدول 21.2 إلى نصف عمر أغلب البرك المتماسكة من العنصر ، جزء كبير منها عادة ما يخرج من الجسـم بسـرعة . بالإضـافة إلى ذلك ، إذا أريد وقف تراكم محسـوس من ^{90}Sr في العظم ، فإن النسبة المنخفضة للاسترنشيوم ^{90}Sr إلى Ca هي الأهم وليس الكمية الصغيرة من ^{90}Sr التي يتم أخذها .

يعتبر اليود المشـع ^{131}I ملوثاً لفترات قصـيرة بعد سـقوط غبار ذري خطير ، يتراكـم اليود في الغدة الدرقية . تؤدي تجارب القنابل الذرية خاصة إلى انبعاث الإشعاع النشط للاسترنشيوم واليود، يمكن أن تسبب حوادث المفاعلات الذرية تلوثاً خطيراً بالسيزيوم المشع ^{137}Cs .

يكون الاسـترنشـيوم موزعاً في اللبن بنفس طريقة الكالسـيوم ، ولكن لأن *SrHpo4* يكون شحيح الذوبان في الماء ، ولأن الجزء الأكبر من الاسترنشيوم في اللبن يكون في صورة فوسفات شبه غروية . يشبه سلوك السيزيوم البوتاسيوم K^+ و Na^+ . يوجد أغلب اليود في اللبن كيوديد ذائب .

جدول 19.2 بعض النيكليدات المشعة الهامة التي يمكن أن توجد في اللبن

Table 2.19 Most Important Radionuclides that Can Occur in Milk

الموقع في اللبن Location in Milk	نصف العمر البيولوجي Biological Half-Life	Kصف العمر الفيزيائي Physical Half-Life	النيوكليد المشع Radionuclide
>80% في جسيمات الكازين والباقي في المصل >80% in casein micelles,the rest in serum	50 عام -50 yr	52 d	^{89}Sr
>80% في جسيمات الكازين والباقي في المصل >80% in casein micelles, the rest in serum	50 عام -50 yr	28 yr	^{90}Sr
المصل (2% في الدهن) Serum (-2% in the fat)	100 يوم -100 d	8 d	^{131}I
Serum المصل	-30 d	33 yr	^{137}Cs

7.2 اختلافات *Variability*

إن اللبن الطازج حديث الحلب ليس دائماً متشـــابه ، وقد تمت دراســـة الاختلاف في المكونات جيداً ، ولكن التركيب (مثل حجم كريات الدهن) يختلف . بالإضـافة إلى ذلك تسـبب التغيرات اختلافات معينة كما ذكر في الفصـــل 4.1 وبمفهوم كيفي نســتطيع القول بأن لبن الأبقار ثابت إلى حد ما في تركيبه .

إن العوامل الرئيسية المؤثرة على التركيب وخواص اللبن هي كالتالي :

أ- الأنواع ، تربية المواشي ، والفرد وبمعنى آخر العوامل الجينية .

ب- مراحل الحلب (لها تأثير هام ، يختلف لبن السرسوب كثيراً عن اللبن العادي) ، عمر البقرة ، مرحلة الشبق والحمل أي العوامل الفسيولوجية .

ج- مرض البقرة ، والتهاب الضرع على وجه الخصوص .

د- التغذية ، الطقس ، طريقة الحلب أي العوامل البيئية .

بالإضـــافة إلى ذلك يمكن أن تدخل اللبن مركبات غريبة عن طريق البقرة أو بعد الحلب . في هذه الطريقة تزيد الاختلافات بصورة ملحوظة . الأمثلة هي مبيدات الآفات ، المضادات الحيوية والغبار. ويتم في هذا الفصـل مناقشـة الاختلافات الطبيعية في التركيب والمكونات وخواص اللبن ، بينما قد نحيت جانباً الاختلافات التي يسببها التلوث أو العمليات .

إن الاختلاف في المكونات غير معروف بالتحديد ، ومن خلال تقارير عديدة في نفس الموضـــوع تم نشـــرها ، والســـبب لأن عوامل عديدة تؤثر على المكونات ولأن اختلافات عديدة متداخلة مع بعضها . وبالإضافة إلى ذلك يختلف كثيراً مدى التغير في العوامل المؤثرة على مكونات اللبن حســب الطقس ، إن الإجراءات المتبعة في المزرعة ، برامج التربية وغيرها وبمعنى آخر ، النتائج التي يحصل عليها في بلد أو منطقة لا يمكن تطبيقها في مكان آخر .

1.7.2 مصادر الاختلاف *Sources of Variation*

تعتمد اختلافات اللبن على العوامل الجينية والظروف الفسيولوجية للحيوان والعوامل البيئية .

الأنواع *Species*

تنتج ثدييات متنوعة لبناً يختلف كثيراً في مكوناته ، تغطي البيانات المتوفرة 150 نوعاً ، تشـير إلى أن محتوى المادة الصـلبة يتراوح بين 8% و 65% ، والدهن من 0% إلى 53% ، والبروتين من 1% إلى 19% ، والكربوهيدرات من 0.1% إلى 10% ، والرماد من 0.1% إلى 2.3% .

إن النوع الوحيد الذي تم تربيته لإنتاج اللبن هو الحيوانات الحافرية . وأهم الحيوانات هي المجترات (البقر ، الجاموس ، الماعز ، الغنم و الدرباني ، وهو حيوان من الفصــيلة البقرية على ظهره سنام) . يعطي الجدول 20.2 نبذة عن التغيير . فمثلاً تحتوي ألبان الجاموس والغنم على دهن أكثر. وكذلك الطرق المعتادة لتخفيف لبن الأبقار المعد للاستهلاك المباشر مع اللبن منزوع الدسم ليعطي *Toned milk* اللبن المتناغم . تشــمل اختلافات أخرى النكهة والمكونات الدهنية . دهن لبن الماعز والغنم بها محتوى منخفض من بقايا حامض البيترك ، ولكن محتواه عالٍ من حمض كابرويك Caproic ، والكابريليك Caprylic ، وكابريك Capric (ماعز = Capra = goat) يحتوي لبن الجاموس على كريات دهن كبيرة ومحتوى عالٍ من الفوسفات الغروية .

التربية Breed

عادة ، تحت أنواع مختلفة يمكن تمييزها داخل النوع ، ولكن نســل البقرة يكون نتيجة الانتخاب الذي يقوم به الإنســان . ســلالات مختلفة تم الحصــول عليها حســب الغرض من الاســتخدام (ماشــية لبن ، لحم ، مقاومة للجفاف) والظروف المحلية ، مثل الطقس ، التغذية ، الأرض ، العادات .

وقد أدى ذلك إلى اختلاف واســع في إنتاجية ومحتويات اللبن . بالإضــافة على ذلك الانتخاب الموجه القوي في المائة ســنة الأخيرة ، قلل من الاختلاف في محتوى اللبن بين قطعان الماشــية المخصــص لإنتاج اللبن . بعض الأمثلة موجودة في جدول 21.2 . تكون الاختلافات في مكونات لبن الماشية أو الغنم أكثر اتساعاً .

الأفراد Individuals

يمكن أن يكون الاختلاف في مكونات اللبن بين أفراد البقر لأحد الســلالات أكبر من الاختلاف بين السـلالات المختلفة (انظر شكل 35.2) . غالباً ما تكون الاختلافات في المكونات في لبن الأقسام الأربعة التي ينقسم إليها ضرع البقرة مهملة .

جدول 20.2 المتوسط التقريبي لمكونات اللبن (% وزن/وزن) لبعض الحيوانات الحلوبة

Table 2.20 Approximate Average Composition (%w/w) of Milk of Some Milch Animals

الرماد 'Ash'	الكربوهيدرات Carbohydrates	بروتين المصل Serujm Protein	الكازين Casein	الدهن Fat	المادة الجافة Dry Matter	الجنس/النوع Genus/Species	الحيوان Animal
0.5	6.7	1.0	1.0	1.5	10.8	*Equus asinus*	Donkey الحمار
0.5	6.2	1.2	1.3	1.7	11.0	*Equus caballus*	Horse الحصان
0.8	4.5	0.9	2.7	4.5	13.4	*Camelus dromederius*[a]	Camel الجمل[1]
1.5	2.6	2.0	8.5	8.0	35	*Rangifer tarandus*	Reindeer حيوان الرنة
0.7	4.6	0.6	2.7	3.9	12.8	*Bos taurus*	Cow البقرة
0.7	4.7	0.6	2.6	4.7	13.5	*Bos indicus*	Zebu[b] الحمار الوحشي
0.9	4.6		5.5	6.7	17.7	*Bos grunniens*	Yak ثور التبت (الياك)
0.8	4.8	0.6	3.3	7.4	17.2	*Bubalus bubalis*	Buffalo الجاموس[c]
0.8	4.3	0.6	30	4.5	13.3	*Capra hircus*	Goat الماعز
1.0	4.6	0.8	4.5	7.5	18.6	*Ovis aries*	Sheep الغنم

a. كذلك *Camelus bactrianus* و *Crossbreads* .

b. الحمار الوحشي يظن أنه تحت نوع للبقرة .

c. ويسمى أيضاً *Swamp* أو *water buffab* أو *Buffab* أو *Carabao* .

مرحلة الحلب Stage of Lactation

هذا هو المتغير الفســيولوجي الهام ، تشــير أمثلة تم ســردها في شــكل 32.2 إلى متوســط مكونات اللبن في 10 بقرات من مزرعة واحدة في فصـول مختلفة . تم رسـم البيانات كدالة للموسـم نتج عنه اختلافات صغيرة . وهذا يدل على أن مرحلة الحلب هي المتغير الأساسي ، بالرغم من أنه يصـــعب فصـــل التأثير عن المتغيرات الأخرى مثل النظام الغذائي والمرعي . يســـلك المحتوى من الفوسفات مسلكاً مشابهاً للكالسيوم والكلوريد توازي المحتوى من الصوديوم ، يمكن أن تسبب فترة الحلب الطويلة بعد 10 شهور اختلافات كبيرة في مكونات اللبن .

جدول 21.2 متوسط مكونات اللبن التقريبية (% وزن/وزن) لبعض سلالات الأبقار

Table 2.21 Approximate Average Composition (% W/W) of the Milk of Some Breeds

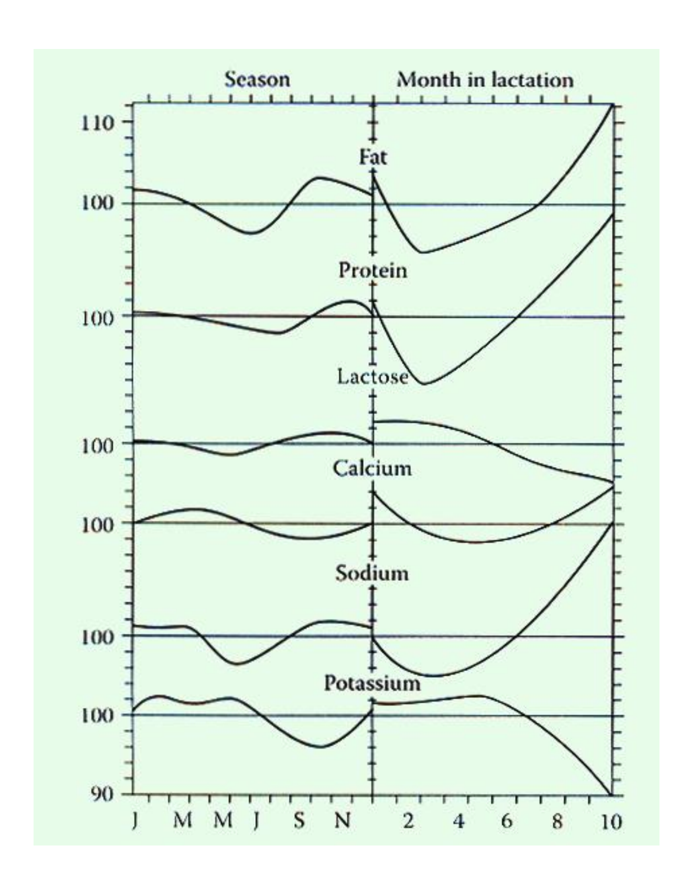
السلالة Breed	المادة الجافة Dry Matter	الدهن Fat	البروتين الخام Crude Protein	لاكتوز Lactose	الرماد 'Ash'
فريزيان (في هولندا) Black and white (in the Netherlands)	13.4	4.4	3.5	4.6	0.75
فريزيان (من مصادر أخرى)[1] Black and white (other sources[a])	12.4	3.6	3.3	4.6	0.75
براون سويس Brown Swiss	12.9	4.0	3.3	4.7	0.72
جيرسي Jersey	15.1	5.3	4.0	4.9	0.72

a. مثلاً هولستينز في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا .

a. For example, Holsteins in the U.S. and Canada.

لبن السرسوب (اللبأ)   Colostrum

لبن الســـرســـوب لـه مكونـات مختلفـة . مثـال ذلـك موجود في شـــكـل 33.2 ، ولكن التغيرات في المكونـات تختلف بصـــورة واســـعـة بين الأبقـار . في لبن الســـرســـوب



شكل 32.2 محتوى بعض المكونات في اللبن كدالة عن الموسم ومرحلة الإدرار المحتوى المتوسط يوضع عند 100% قسم واحد يمثل 2%

Figure 2.32 Content of some components in milk as a function of season and of lactation stage. The average content is put at 100%. One division corresponds to 2%. *After P.Walstra and R.Jenness. Dairy Chemistry and physics* (*New York; Wiely*, 1984)

تكون الجلوبيلينات المناعية نسبة عالية من كمية بروتينات المصل ، يكون محتوى الجلوبيلينات المناعية في لبن السرسوب الأول في المتوسط حوالي 7% . عندما نسخن هلام السرسوب لدرجة 80 درجة مئوية ، يتحول إلى مادة غير ذائبة (يتكون أغلبه من بروتين المصل) . يكون السرسوب أيضاً مرتفعاً في الخلايا الجسمية ، يمكن أن يكون النحاس والحديد وتركيز الأس الهيدروجيني أقل من 6 والحموضة عالية تقدر بـ 40 $N°$.

عوامل فسيولوجية أخرى

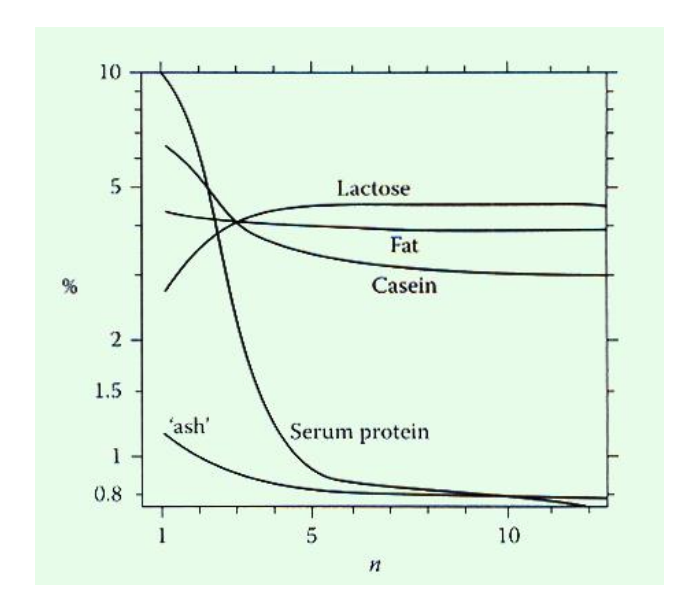
التهاب الضرع *Mastitis*

إن الالتهاب الحاد للضرع بعد الإصابة ببكتيريا ممرضة تسبب نقصاً في إدرار اللبن وتغييراً في مكونات اللبن . وعدد الخلايا الجسمية في اللبن (وخاصة كريات الدم البيضاء عديدة الأنوية) تزداد ، عد الخلايا عادة ما يعتبر كشاهد على وجود التهاب الضرع . والعلاقة بكل المقاييس كاملة. مثال لإنتاجية اللبن ومكونات اللبن كدالة لعدد الخلايا تمثل في شكل 34.2 . باختصار تكون التغيرات أصغر مما هو موضح ، لأن أغلب المحددات تحدث في المليلترات الأولى من الحلب ، والتي يكون فيها العد الخلوي أقل من متوسط اللبن . يسبب التهاب الضرع الحاد في أن مكونات اللبن تشبه إلى حد ما مصل الدم ، كما يحدث في نهاية الحلب النهائية . تزداد بعض الإنزيمات أيضاً في النشاط . عادة لا يسبب وجود لبن التهاب الضرع مشاكل محسوسة لمصانع الألبان ولكنه يحدث خسارة كبيرة للفلاح .

التغذية *Feed*

يمكن أن تؤثر العوامل البيئية على إنتاجية اللبن ولكن لها تأثير أقل على مكونات اللبن ، تنعكس قدرة الثدييات في المحافظة على مكونات ثابتة لسوائل الجسم (*Homeostasis*) . يمكن أن تؤثر مكونات الغذاء على المحتوى الدهني للبن وخاصة مكوناته الدهنية . تسبب الأغذية قليلة البروتين انخفاض المحتوى البروتيني للبن ، بينما يسبب الغذاء الغني بالبروتين زيادة البروتين غير

البروتيني *Non protein* . محتويات أقلية عديدة تتأثر بقوة بواســطة المحتوى من الغذاء (انظر تحت الفصل 2.6.2) .

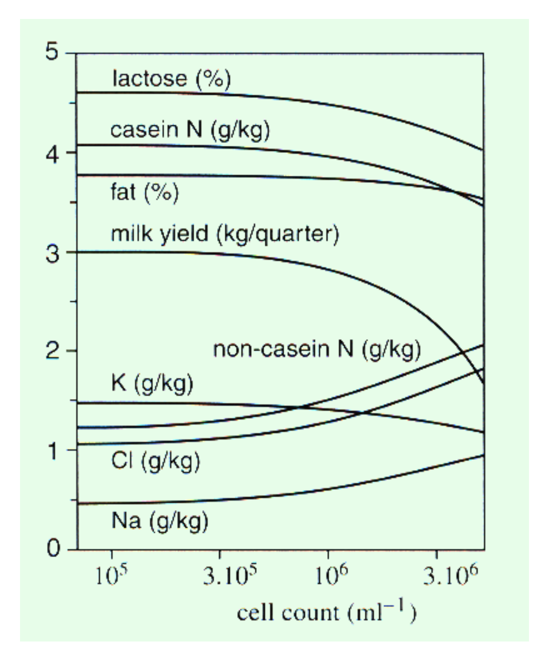


شــكل 33.2 مثال مكونات اللبن اللبأ (% وزن/وزن) بعد الولادة . *n*= عدد مرات الحلب ، مصــل البروتين شــامل البروتيوز–بيبتون

Figure 2.33 Example of composition (% w/w, log scale) of milk (colostrums) just after parturition. *n* = number of milking. Serum protein exclusive of proteose-peptone. (Adapted from P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and physics*, Wiley, New York, 1984)

عوامل بيئية أخرى *Other Environmental Factors*

إن للطقس تأثيراً قليلاً على مكونات اللبن ، إلا إذا كان شــديداً ويحدث صــدمة حرارية . وعليه فجميع أنواع الضــغوط ، الإجهاد ، المأوى يكون لها اتصــال بتأثيرات خفيفة في الغالب .



شكل 34.2 أمثلة لتركيز بعض مكونات اللبن وإنتاجية اللبن كدالة لعدد الخلايا الجسمية للبن

Figure 2.34 Approximate average changes in milk composition and milk yield (per milking) as a function of somatic cell count

الحلب *Milking*

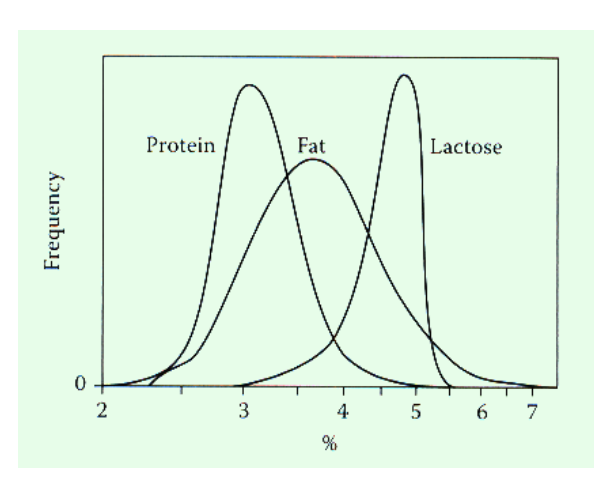
كلما كان الوقت قصـــيراً بعد الحلبة الأولى ، كلما كان إنتاج اللبن قليلاً والمحتوى الدهني عالٍ ، اللبن المحلوب في المساء له محتوى دهني أعلى من لبن الصباح . ويكون الفرق حوالي 0.25% دهن . يزداد المحتوى الدهني أثناء الحلب (من 1% إلى 10%) ، ولكن الفرق يختلف بصورة ملموسة بين الأبقـار . يمكن أن يقلـل الحلـب غير الكـامـل محتوى الـدهن في اللبن . تزيـد الفترات الزمنيـة القصـيرة بعد الحلب حسـاسـية اللبن للتحلل الدهني (تحت فصـل 5.2.3) . إن الشـبق والحمل ليس لهما تأثير كبير على مكونات اللبن ، ولكن لهما تأثير على إنتاجية اللبن . ينقص أغلب مكونات اللبن تركيزها بالتدريج مع عمر البقرة وزيادة الصوديوم .

تغيرات عشوائية *Random Variations*

تحدث تقلبات من يوم إلى آخر في المحتوى الدهني خاصة .

2.7.2 نوع التغير *Nature of the Variation*

تعطي أغلب أشـــكال وجداول فصـــل 7.2 أمثلة للتغيرات في مكونات اللبن . من بين المكونات الرئيســية الاختلاف الواســع الذي يحدث عادة في المحتوى الدهني . التغيرات في البروتين أقل وفي اللاكتوز والرماد مازالت أقل . وهذا موضـح في شـكل 35.2 . يمكن أن يتغير أيضـاً تكوين المكون الرئيسي ، خاصة نموذج الحمض الدهني . لدهن اللبن والنسبة بين المعادن مثل الصوديوم إلى البوتاسيوم . كل بروتين فردي يكون له تكوين ثابت ماعدا للمتغيرات الجينية ، ولكن النسبة بينهم يمكن أن تتغير بعض الشـــيء ، يكون الكـازين ثـابتـاً نسـبياً ، ولكن نسـبـة بروتين

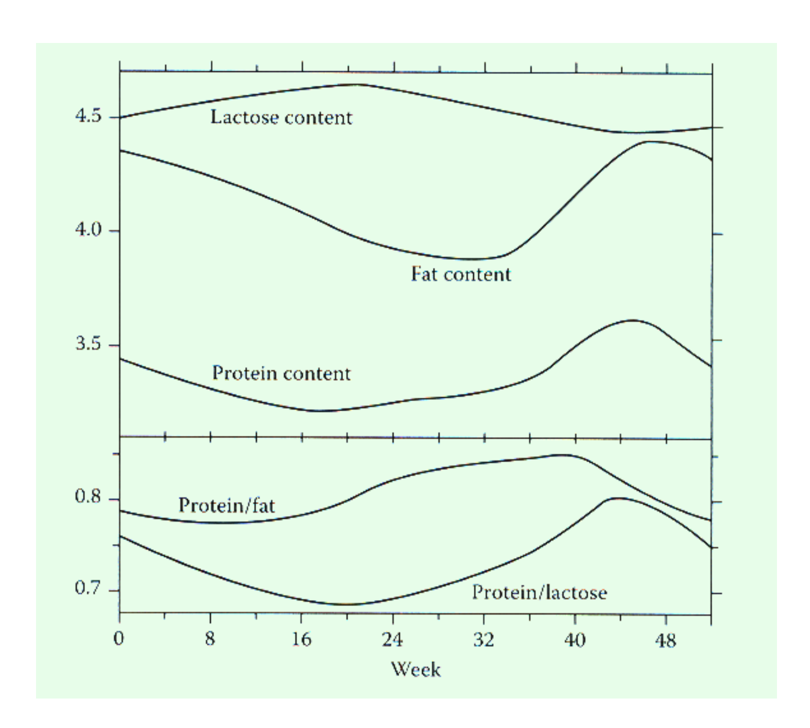


شـــكل 35.2 التوزيع التكراري لمحتوى البروتين الخام ، الدهن واللاكتوز (مقياس لوغاريتمي) لعينات من اللبن من أبقار منفردة تم جمعها خلال العام

Figure 2.35 Frequency distributions of crude protein, fat, and lactose contents (logarithmic scale) of samples of milk from individual cows, taken throughout a year. (From P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984. With Permission)

المصل للبقرة تكون أقل ثباتاً من الجلوبيولينات المناعية تكون الألبومين في المصل متغيرة . ما يسمى عدد الكازين أي نسبة النيتروجين الموجودة في الكازين تحدد كلياً الناتج من الجبن لكل كيلوجرام من بروتين اللبن ، وعليه فهو متغير هام .

توزيع المكونات بين الأجزاء الفيزيائية للبن مثل حجوم كريات الدهن وجسـيمات الكازين تكون متغيرة أيضاً . ويختلف حجم كريات الدهن اختلافاً محسوساً ، تتراوح متوسط مساحة الحجم *d* بين 2.5 إلى 6 ميكروميتر والذي يعادل الفرق بعامل قدره 14 في متوسط الحجم ، وتختلف كريات الدهن وجسيمات الكازين في مكونات الخلية الواحدة لنفس البقرة .



شـــكل 36.2 أمثلة من محتوى اللاكتوز ، الدهن والبروتين الخام (% وزن/وزن) لألبان هولاندية طوال العام (من يناير إلى ديسمبر)

Figure 2.36 Examples of lactose, fat, and crude protein contents (% w/w) of milk delivered to a dairy throughout a year (January to December)

جدول 22.2 المتغيرات الجينية لـ *K*-كازين و *B*- لاكتوجلوبيلين ، توزيعها والعلاقة مع المحتوى البروتيني ومكونات البروتين للبن (عينات لبن من 10000 عينة من أبقار فريزيان في هولندا

Table 2.22 Genetic Variants of κ-casein and β-lactoglobulin, Their Frequency, and the Relation with Protein Content and Protein Composition of Milk

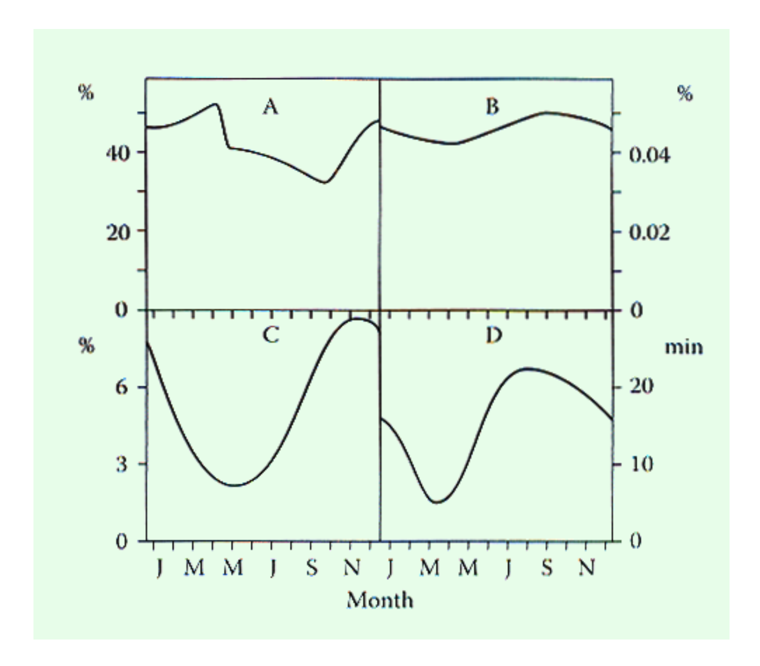
κ-Casein N/ Casein N	Casein N/ Total N	Crude Protein (%)	Frequency(%)	Genetic Variant[a]
0.15	0.77	3.58	64	κ-A
0.16	0.78	3.67	32	κ-A and B
0.18	0.79	3.76	4	κ-B
0.17	0.77	3.68	19	β-lg-A
0.16	0.78	3.65	51	β-lg-A and B
0.16	0.79	3.69	30	β-lg-B

a. Acow of genotype AA Produces variant A, genotype AB gives both variants.
Note: Samples of milk of 10,000 black and white cows in the Netherlands

تسبب كل هذه المتغيرات تغيرات في الصفات الطبيعية أو الفيزيائية . فمثلاً الكثافة (الحيود القياسي لعينات بقرة واحدة حوالي 2 كيلوجرام. متر$^{-3}$) .حموضـــة جدول المعايرة (*N*°1) ، الأس الهيدروجيني *pH* (0.04 وحـدة) ، اللزوجـة (5% نســبيـة *relative*) ، ومعـامـل الانكســـار للـدهن (10^{-3} وحدة) .

يعتمد مدى الاختلاف كثيراً على عينة العشـــيرة *Sample population* . يمكن أن يتراوح المحتوى الدهني لحلبات منفصـــلة لبقرات فردية بين 2% و 9% ، ولكن المدى في محتوى الدهن في اللبن المستلم من مصنع ألبان سوف يكون ضـيقاً ، ومن الواضـح أن حصـة اللبن التي تتكون من متوسط أعداد كبيرة من تحت حصص سوف تشير عادة إلى انتشار بسيط .

تكون الفروقات لمصـــنع ألبان بين المناطق الجغرافية المختلفة والاختلافات الموسمية مهمة للغاية . يعتمد الاختلاف الأخير على نظام عجول الأبقار *Calving pattern of the cows* . في بعض المناطق وفي كل أوقات السنة يوجد عدد مساوٍ من العجول . وهذا يعني أن أي نظام موسمي في مكونـات اللبن لا يرجع إلى التغير في مرحلـة الحلـب . تطرف آخر هو أن كـل عجول



شكل 37.2 أمثلة للتغير الموسمي (*A*) تماسك الزبدة (*B*) محتوى الدهن للبن المفصول (*C*) نسبة عينات قطيع لها حموضة دهن أكبر من 1 ميلي مكافئ/100 جرام دهن (*D*) زمن التخثر بالحرارة للبن عند 140 درجة مئوية

Figure 2.37 Examples of seasonal variation. (A) Firmness of butter (yield stress). (B) Fat content of separated milk. (C) Percentage of herd samples having a fat acidity > 1.0 mEq per 100 g of fat. (D) Heat coagulation time of milk at 140°C. Approximate examples

الأبقار في ظرف أسـبوعين في نهاية الشـتاء ، وهذا يعني أن هناك تغيرات كبيرة في مكونات اللبن أثناء الموسـم ، يكون الجزء الأهم منها نتيجة مرحلة إدرار اللبن ، يمكن أن يسـبب هذا المتغير مشـاكل لصـاحب مصـنع الألبان . يكون الوضـع متوسـطاً في أغلب البلدان مع إنتاج اللبن طوال العام ، ولكن أغلب عجول الأبقار تكون قبل الموسـم المناسـب لإنتاج اللبن وهو الصيف أو موسـم الأمطـار . وهـذا يعني تـأثيراً معتـدلاً لمرحلـة الحلـب *Lactation stage* على الاختلاف الموسمي . يوضـح الشـكل 8.1 مثالاً يبين أن الاختلاف ليس كبيراً أي أنه لا يتجاوز ±8% والشـكل

يمدنا أيضـاً بمعلومات عن بعض مكونات اللبن بالنسبة للفصـول ومرحلة الحلب . تسبب الظروف المناخية السيئة نقصاً في إنتاجية اللبن ، يميل المحتوى الدهني والبروتيني في اللبن للزيادة الطفيفة نتيجة لهذه الضغوط .

1.2.7.2 الارتباط بين المتغيرات *Corelations Among Variables*

توجد علاقة ارتباط بين المتغيرات ، ويمكن شـرح بعضـها كيفياً . اللبن متسـاوي التوتر مع الدم *isotonic* ، يحدد الضـــغط الإسموزي بواســـطة اللاكتوز والأملاح الذائبة . وبالتالي إذا انخفض واحد من هذه في التركيز فإن الآخر سـوف يرتفع عندما تعاني الأبقار من التهاب الضـرع أو عندما تكون في مرحلة متقدمة من إدرار اللبن ، كمية كبيرة من محتويات الدم منخفضة المولارية ترتشح من الدم إلى داخل اللبن ، ســوف ينخفض محتوى اللاكتوز في اللبن للبقرات المريضــة لأن مصــل الدم يحتوي على كميات كبيرة من الأملاح الذائبة وسكراً أقل من اللبن .

بعض الأبقار المصـــابة بالتهاب الضـــرع عادة لا يوجد بها محتوى منخفض من الأملاح الذائبة . ونتيجة لذلك سوف ينحرف سلبياً توزيع محتوى اللاكتوز للبقرات الحلوب الفردية (شكل 35.2) وبالمثل يرتفع العد الخلوي حيث ينحرف إيجابياً في الأبقار التي تعاني من التهاب الضرع .

ويجب أن يعزى الارتباط الســلبي بين تركيزات الصــوديوم والبوتاســيوم (شــكل 32.2) إلى مضــخة الصــوديوم–بوتاســيوم في غشــاء الخلايا اللبنية ، تركيزات الأملاح الذائبة والكازين ترتبط إيجابياً لأن جسيمات الكازين تحتوي على فوسفات الكالسيوم الغروية (فصل 2.2) أي جزء من كل بالطبع سوف يكون مرتبطاً مع هذا الكل ، فمثلاً نيتروجين الكازين مع النيتروجين الكلي .

محتوى اللبن يمكن أيضـاً أن يرتبط مع المتغير الجيني لأحد بروتينات اللبن ، ويعطي الجدول 22.2 أمثلة لذلك ، ويتضح من الجدول أن الأبقار مع المتغير β لــ k– كازين تنتج لبناً يحتوي على محتوى بروتيني أعلى . منها جزء أكبر هو الكازين ، وبالتالي الجزء الأكبر منها هو k– كازين . هذا ينطبق خاصــة على الحيوانات متشــابهة اللاقحة *Homozygotic animals* أي أن الطرز الجيني *BB* له

متغير واحد B في ألبانها . ولكي نكون متأكدين ، تشير البيانات إلى اللبن في المتوسط حيث يوجد بالطبع ، وهناك بعض العوامل التي تؤثر على هذه المحتويات . يرتبط المتغير الجيني لـ K– كازين أيضاً مع المحتويات الأخرى في اللبن . فمثلاً الأبقار التي لها الطرز الجيني AA تنتج لبناً مرتفع الحموضة ومحتوى الكالسيوم منخفض ، يشير كل هذا إلى أنه ليس دائماً ما يوجد ارتباط سلبي بين المتغير الجيني ومكونات اللبن ، ومن المفترض أن مواقع الجينات التي تكون الاختلافات الموجودة (متغير جيني للبروتين والمكونات الأخرى للبن) تكون قريبة من بعضها البعض على الكروموسوم ، لذلك فإن الجينات المختصة ربما تكون متقاربة ، المتغير الجيني لـ B– لاكتوجلوبلين يظهر أنه مرتبط مع مكونات بروتين اللبن عنه من المحتوى البروتيني .

3.7.2 بعض المتغيرات الهامة *Some Impportant Variables*

إن بعض الأمثلة للمتغيرات في المنتجات اللبنية يسببها متغير في اللبن وهي كالتالي :

1. يمكن أن تختلف إنتاجية المنتج ، فمثلاً تعتمد إنتاجية الزبدة على محتوى الدهن في اللبن ، وتعتمد إنتاجية الجبن على محتوى الكازين ، وإنتاجية بودرة اللبن الفرز *Skin milk* تعتمد على محتوى المواد الصلبة وليس المحتوى الدهني .
2. تعتمد مكونات أغلب المنتجات على مكونات اللبن ، تكون في لبن الجبن القياسي نسبة البروتين إلى الدهن ضرورية ، بينما مكونات بودرة اللبن الفرز فإن نسبة البروتين إلى اللاكتوز تتغلب (شكل 36.2) . محتوى الدهن للبن الفرز وبودرة لبن الفرز يعتمد على حجم كريات الدهن (*B* 37.2) .
3. يعتمد سلوك البلورة لدهن اللبن على مكونات الدهن . والتي تؤثر بدورها على صلابة الزبدة (عادة ما تكون الزبدة صلبة في الشتاء شكل *A* 37.2) ، يشمل التأثير الموسمي خاصة التغذية ، بالرغم من وجود اختلافات معتبرة بين الأبقار .
4. ثباتية الحرارة *Heat stability* (شكل *D* 37.2) هي عامل مهم في تصنيع اللبن المكثف *Evaporated milk* .

5. يمكن أن تختلف عيوب المتبادلات الحرارية نتيجة ترسيب البروتين بصورة ملموسة مع مكونات اللبن ، يظهر أن لتركيب الأملاح تأثير ما ، ويمكن أن يرجع ذلك إلى الثباتية الحرارية (النقطة 4) . المحتوى العالي جداً من الجلوبيولينات المناعية ، كما هو موجود في اللبأ ، يسبب عيوباً خطيرة (بالإضافة إلى ذلك اللبن ذو الطعم اللاذع نتيجة وجود النموات البكتيرية يسبب عيوباً أكثر) .

6. القابلية لتكوين الأنفحة *Rennetability* تعتمد أساساً على نشاط أيون الكالسيوم Ca^{2+} (فصل 24.3.3) .

7. تقشيد اللبن ، وخاصة التقشيد السريع نتيجة عمل الأجلوتنين البارد تكون مختلفة بدرجة عالية . يقل المحتوى من الأجلوتنين في اللبن بصورة ملحوظة أثناء فترة الإدرار ، ولكن هناك اختلافات كبيرة بين الأبقار (انظر تحت فصل 4.2.3) .

8. يمكن أن تختلف العوامل التي تثبط أو تحفز نمو الكائنات الدقيقة ، في هذا الخصوص مثلاً تركيز الأجلوتينات (الذي من المحتمل أن يقل بزيادة مرحلة الإدرار) . يؤثر تركيز المنجنيز على تخمر حامض الستريك بواسطة بعض البادئات .

9. في مصطلحات الطعم في اللبن ، تكون نسبة محتويات الأملاح الذائبة إلى اللاكتوز هامة ، نسبة الحجم 100 (الكلور / اللاكتوز) تختلف من 1.5 إلى 3 وفي حالات قصوى من 1.2 إلى 4.5 . نسبة أكبر من 3 تعطي طعم ملحي . ميل اللبن لتكوين طعم غير مستساغ *off- flavor* تختلف أيضاً بشكل واسع ، نشاط إنزيم الليباز (شكل *c* 37.1) ، يختلف معدل الأكسدة الذاتية بقوة بين الأبقار (قد يبلغ الاختلاف عشرة أضعاف أو أكثر) وعادة ما تزيد وتنقص بالتدريج بتقدم فترة الإدرار ، يظهر ميل اللبن لتكوين "*Sunlight flavor*" طعم ضوء الشمس بقوة في فصل الشتاء .

10. لون اللبن وخصوصاً لون القشدة والجبن ، يختلف بشكل واسع للاختلافات في محتوى البتاكاروتين في اللبن ، يعتمد هذا المحتوى على التغذية (العشب يعطي اللون الأصفر والقش

أو التبن يعطي اللون الأبيض للدهن) . ولكن أيضـــاً بالنســـبة لقدرة الأبقار على تحويل البيتاكاروتين إلى فيتامين *A* هذه القدرة تختلف بصورة واسعة بين الأبقار المفردة . تعطي الأبقار من النوع جيرســـي لوناً أصـــفر ، أو حتى دهن لبن لونه برتقالي ، بينما يعطي الجاموس والغنم والماعز دهن لبن عديم اللون .

مراجع مقترحة *Suggested Literature*

نوقشت معالجة شاملة لجوانب كثيرة في هذا الباب :

P. Walstra and R. Jenness, Dairy Chemistry and Physics Wiley, New York, 1984.

بالرغم من تقادم الأجزاء إلى حد ما .

معلومات غزيرة عن كيمياء وبعض الجوانب الفيزيائية والغذائية لمكونات اللبن توجد في المرجع التالي:

P.F.Fox, Ed, Advenced Dairy Chemistry, in three volumes; proteins, 3*rd ed, kluwer Academic, New York*, 2003, *Lipids,* 2*nd ed, chapmen and Hall, London*, 1995; *Lactose, Water, Salt and Vitamins* 2*nd ed, chapmen and Hall, London,* 1997, *volume* 1.

وتحتوي أيضاً على إنزيمات لبن طبيعية .

هناك كتاب مرجعي آخر هو :

N.P. Wong, R.Jenness, M. Keeney, and E.H. marth, Eds, Fundamentals of Dairy chemistry, 3rd *ed, Van Nostrand Reinbolt, New York,* 1988 *It also contains a chapter on Nutritive value of dairy foods.*

تكوين النواة ، النمو وتكوين شـــبكة بلورة الدهن شـــاملة الخواص الريولوجية للدهن البلاســـتيكية موجودة في الكتاب التالي :

P. Walstra, Physical Chemistry of Foods.Dekker, New York, 2003.

جوانب أســـاســـية لمكونات كيمياء الأغذية أيضـــاً موجودة في مراجع في الكيمياء العضـــوية والحيوية .

O.R. Fennema, Ed, Food Chemistry, 3*rd ed, Dekker, New York*, 1996.

تلوث اللبن ، دراسة عن بقايا ملوثات اللبن والمنتجات اللبنية .

International Dairy Federation, Special Issue Brussels, 1991.

3 جزيئات اللبن شبه الغروية
Colloidal Particles of Milk

3. جزيئات اللبن شبه الغروية *Colloidal Particles of Milk*

بالرجوع لشكل 1.1 وجدول 1.2 يتضح أن الجوانب شبه الغروية يجب أن يكون لها أهمية كبيرة . اللبن مستحلب مشتق يحتوي على جزيئات كثيرة لها أبعاد شبه غروية (أي بين 10 نانومتر و 100 ميكرومتر في القطر) . خاصة كريات الدهن وجسيمات الكازين ، حيث يكونا معاً من 12 إلى 15% من حجم اللبن . بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تدمج فقاعات غاز صغيرة (خاصة الهواء) أثناء بعض العمليات .

يؤدي وجود هذه الجزيئات إلى نتائج عديدة :

- توجد بعض المواد في جزيئات منفصلة . وهذا يعني أن التداخلات مع مركبات في المصل قد تحدث عن طريق سطح الجزيئات التي يمكن أن تعمل كحاجز . بالإضافة على ذكر المركبات في كرية دهن واحدة فإنها لا تستطيع عادة أن تصل لكرية أخرى .
- يمكن أن تتعرض الجزيئات لعوامل عدم ثبات مختلفة . وقد تم توضيح أهم هذه العوامل في شكل 1.3 . تؤدي أغلب هذه العوامل حتماً إلى منتجات غير متجانسة بخواص متغيرة كلية .
- تعتمد خواص فيزيائية عديدة على حالة التشتت ، مثلاً العكارة وبالتالي اللون واللزوجة . إذا حدث تجمع الجزيئات ، فإن هذا سوف يؤثر على اللزوجة وعادة ينتج الهلام .

سوف تناقش معظم هذه النقاط في هذا الباب وبصورة مفصلة بالنسبة للنقطة الثانية .

1.3 جوانب أساسية *Basic Aspects*

سوف نناقش بإيجاز في هذا الفصل بعض نواحي علم السطوح وشبه الغرويات ، القراء الذين ليس لديهم إلمام كافٍ بهذه الجوانب ، فإن المادة التي تناقش سوف تكون مفيدة في بعض الأبواب الأخرى .

وهناك نوعان من الغرويات يمكن التعرف عليها :

شبه غرويات كارهة للمذيب ***Lyophobic colloids***

وهي شـبه غرويات غير ثابتة وجميع حالات عدم الثبات الفيزيائي المرسـوم في شـكل 1.3 سـوف تحدث بالرغم من أن معدل التغير يمكن أن يكون صـغيراً للغاية في بعض الحالات . تُكوّن الجزيئـات الكـارهـة للمـذيـب *Lyophobic particles* حـالـة حقيقيـة *A true phase* هـذه الجزيئـات لها سـطح حالة يمكن عليه امتصـاص المادة في اللبن ، كريات الدهن أو أي فقاعات غاز موجودة هي النوع الكاره للمذيب . يمكن أيضـاً أن تعتبر بلورات الدهن في الزيت كشـبه غرويات كارهة للمذيب .

شبه غرويات محبة للمذيب ***Lyophilic Colloids***

وهي شـبه غرويات ثابتة والتي يمكن أن تتكون ذاتياً . وهي شـبه غرويات ليس لها سـطح حالة ويمكن فقط أن تجتاز التغيرات الفيزيائية إذا تغيرت الظروف مثل الأس الهيدروجيني . في اللبن المصطلح يشير إلى جسيمات الكازين . (لاحظ أن جسيمات الكازين ليست ثابتة كيميائياً ، يتغير التكوين الكيميائي مع الوقت ، والذي من المحتمل أن يؤدي إلى عدم ثبات فيزيائي بالرغم من أن المعدل يمكن أن يكون بطيئاً للغاية) .

المصطلحات *Lyophobic* و *Lyophilic* تعني كارهة للمذيب ومحبة للمذيب على التوالي . للجزيئات في مصـل اللبن حيث الحالة المسـتمرة هي المائية ، فإن *Lyophobic* و *Lyophilic* تعني أن الجزيئات شبه الغروية كارهة ومحبة للماء على الترتيب .

يدرس علم السـطوح *Surface science* خواص أسـطح الحالة *Phase surfaces* ويهتم بالقوى التي تعمل في اتجاه السـطح . تتحور هذه القوى كثيراً بواسـطة ادمصـاص المادة على السطح .

يختص علم شبه الغرويات *Colloid science* بدراسـة القوى المتفاعلة المؤثرة بين الجزيئات والتي تحدد مثلاً ما إذا كـانـت الجزيئـات سـوف تتجمع أم لا . تعمـل هـذه القوى في اتجـاه عمودي على السـطح . في حالة السـطح الكاره للمذيب (الماء) ادمصـاص المواد يمكن أن يحور القوى بشـكل

كبير . ويجب أن نشير إلى أن التقشيد أو عامة الترسيب ، ليس ناتجاً عن تداخلات شبه غروية، ولكن نتيجة قوة خارجية تسببها الجاذبية أو عملية الطرد المركزي . أيضاً تتعرض الجزيئات المحبة للماء شاملة جسيمات الكازين للترسيب ، بشرط أن تكون قوة الطرد المركزي كبيرة بصورة كافية . وأخيراً يتم توقيف حالات عدم الثبات ماعدا نضج استوالد *Ostwald ripening* إذا تم شل حركة الجزيئات أو تجميدها في مكانها ، والذي يمكن تحقيقه بواسطة إعطاء السائل محصلة ضغوط (انظر تحت فصل 1.7.4) .

Type of change		Particles involved
Creaming		F, A
Aggregation		C, F
Coalescence		F, (C), A
Partial coalescence		F
Ostwald ripening		A

شكل 1.3 توضيح للتغيرات المختلفة التي يمكن أن تحدث مع الجزيئات شبه الغروية . *A* تمثل فقاعات الهواء (القطر 50 ميكرومتر) ، *C* تمثل جسيمات الكازين (0.1 ميكرومتر) . و *F* تمثل كريات دهن (قطرها 3 ميكرومتر) . الخطوط الصلبة داخل كريات الدهن (التحام جزئي) تمثل بلورات الدهن

Figure 3.1 Illustration of the various changes that can occur with colloidal particles. A is air bubbles (diameter, e.g., 50 µm). The solid lines in the fat globules (partial coalescence) denote fat crystals

1.1.3 ظواهر سطحية *Surface Phenomena*

يمكن أن توجد أنواع عديدة من السطوح البينية بين حالتين *Two phases* .
يكون السطح الرئيسي بين كل من غاز- صلب *Gas- Solid* ، غاز- سائل ، سائل- صلب ، سائل- سائل . إذا كان واحداً من الحالات غاز (غالباً هواء) فإنه يمكن التكلم عن سطح، في بعض الحالات سوف يكون المصطلح السطح الفاصل *Interface* ، ولكن هذه الكلمات غالباً ما تعتبر متغيرة على نحو متبادل *Interchangeable* والأكثر أهمية هو التميز بين السطح الفاصل الصلب ، حيث يكون واحد من الحالات صلباً والسطح الفاصل السائل بين سائل- غاز أو سائل- سائل . يكون السطح الفاصل الصلب قاسياً ، يمكن أن يتشوه السطح الفاصل السائل .

1.1.1.3 التوتر السطحي *Surface Tension*

السطح الفاصل بين حالتين من أحوال المادة تحتوي على زيادة من الطاقة الحرة ، والتي تكون متناسبة لمساحة السطح الفاصل ، وعلى ذلك سوف يحاول أن يكون السطح الفاصل أصغر ما يمكن ، ليقلل الطاقة الحرة للسطح الفاصل ، وهذا بالتالي يعني أنه يجب تطبيق قوة خارجية لكي نوسع مساحة السطح الفاصل . تكون قوة التفاعل في السطح الفاصل جاذبة وتعمل في اتجاه السطح الفاصل . إذا كان السطح الفاصل سائلاً ، فإنه يمكن قياس القوة ، والقوة لكل وحدة طول تسمى التوتر السطحي *Surface tension* ويرمز له بالرمز γ والوحدات $N.m^{-1}$.

($wo\gamma$ هو الشد بين الزيت والماء ، $SA\gamma$ الشد بين الهواء والجسم الصلب وهكذا . انظر شكل 4.3) . السطح الصلب أيضاً له توتر سطحي ، ولكن لا يمكن قياسه .
تعتمد قيمة التوتر السطحي على تكوين الحالتين *Two phases* . بعض الأمثلة تم ذكرها في جدول 1.3 . التوتر السطحي أيضاً يعتمد على درجة الحرارة ودائماً ما يقل بزيادتها .

جدول 1.3 قيم التوتر السطحي (γ) لبعض النظم

Table 3.1 Values of the Interfacial Tension (γ) of Some System

التوتر السطحي (γ)	*Between phases* بين الحالات
76	Water-air, 0°C ماء– هواء ، صفر درجة مئوية
72	Water-air, 25°C ماء– هواء 25 درجة مئوية
66	Water-air, 60°C ماء– هواء 60 درجة مئوية
43	Na laurate[a]-air لورات الصوديوم[a] (*Na laurate*)– هواء
50	Protein solution-air محلول بروتين– هواء
35	Oil[b]-air زيت[b]– هواء
30	Oil-water زيت– ماء
10	Protein solution-oil محلول بروتين– زيت
25	Ice-water, 0°C ثلج– ماء ، صفر درجة مئوية
31	Fat crystal[c]-water بلورات دهن[c]– ماء
1.5[d]	Milk fat globule-milk serum كريات دهن لبن– مصل لبن
4	Fat crystal-oil بلورات دهن– زيت

ملحوظة ، القيم تقريبية $mN.m^{-1}$ عند 25 درجة مئوية ، إلا إذا ذكر غير ذلك ، تم تقدير القيم المستخدمة لسطح فاصل صلب بصورة تقديرية .

a 0.02 مولر محلول مائي .

b زيت جلسريدات ثلاثية نقي .

c بلورات جلسريدات ثلاثية نقية .

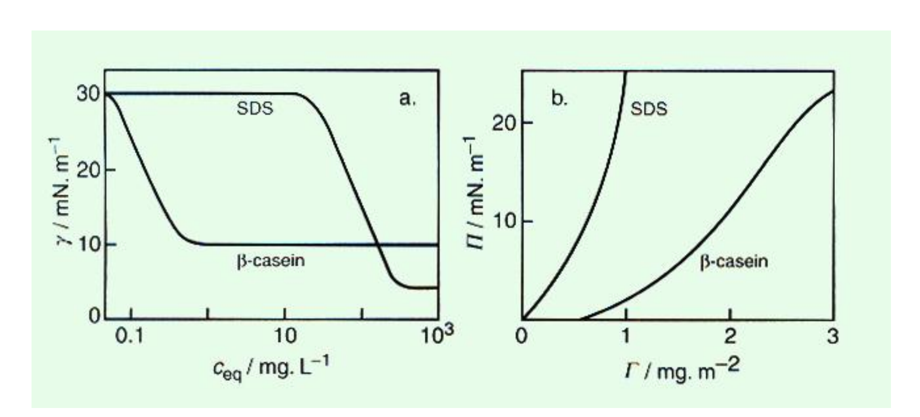
d تتراوح القيم المقاسة بين 0.9 و 2.5 .

Note: Approximate values in $mN\text{-}m^{-1}$ at 25°C, unless stated otherwise. The values involving a solid interface are rough estimates.

a. 0.02 *M* aqueous solution.
b. Pure triglyceride oil.
c. Pure triglyceride crystal.
d. Measured values range from 0.9 to 2.5.

2.1.1.3 الادمصاص *Adsorption*

يمكن أن تتراكم بعض الجزيئات في محلول والتي تكون في تلامس مع سطح الحالة *Phase surface* على هذا السطح ، مكونة طبقة واحدة وهذا يسمى الادمصاص (يجب تمييزها عن الامتصاص *absorption* عندما تؤخذ المادة Substance في المادة *material*) . المادة التي تمتص تسمى مادة ناشرة *surfactant* . المادة يحدث عليها ادمصاص لأنها تعطي طاقة سطح حر منخفض ، وبالتالي لها توتر سطحي منخفض . توجد أمثلة ذلك في (شكل 2.3 *a*) . يلاحظ أن الانخفاض في التوتر السطحي γ يعتمد على تركيز المادة الناشرة الموجودة في المحلول بعد التعادل الذي تم الوصول إليه (C_{eq}) . كلما انخفضت قيمة C_{eq} . عند انخفاض قيمة γ يرتفع نشاط سطح المادة الناشرة . المواد في نظام غازي ، مثل الماء في الهواء يمكن أيضاً أن يحدث لها ادمصاص على السطح ، وتطبق نفس العلاقات .



شكل 2.3 ادمصاص البيتاكاروتين وصوديوم دوديسيل سلفات *SDS* على سطح بين الماء والزيت (*a*) توترالسطح البيني δ كدالة على تعادل تركيز المادة الناشرة Ceq (*b*) العلاقة بين ضغط السطح $\Pi = \gamma_0 - \gamma$ وحمل السطح Γ نتائج تقريبية

Figure 3.2 Adsorption of β-casein and SDS (sodium dodecyl sulfate) at an oil-water interface. (a) Interfacial tension γ as a function of equilibrium surfactant concentration c_{eq}. (b) Relation between surface pressure $\Pi = \gamma_0 - \gamma$ and surface load Γ. Approximate results

متغير هام هو حمل السـطح Γ ، أي كمية المادة المدمصـة (مولات أو في وحدات كتلة) لكل وحدة مسـاحة سـطح . $\Gamma = \gamma_0\gamma,0$ ، القيمة للسـطح الفاصـل النظيف . عند تركيز عالٍ نسبياً للمادة الناشرة ، T يصل قيمة العتبة *Plateau value* أي طبقة واحدة محكمة ، يتوافق هذا مع التركيز الذي تصـل عنده قيمة γ العتبة . قوة Γ تختلف بين المواد النشـارة *surfactants* من 1 إلى 4 مليجرام.متر-2 ، تسـمى العلاقة بين Γ وتركيز المادة الناشـرة خط تسـاوي الادمصـاص *adsorption isotherm* .

تستخدم كل مادة لتشكيل سطح (مادة ناشرة) لها عند التعادل (عند درجة حرارة) علاقة ثابتة بين قوة حمل السـطح T ، انخفاض التوتر السـطحي γ ، يسـمى الأخير ضـغط السـطح *surface pressure* $\Gamma = \gamma_0\gamma$ أمثلة للعلاقة موضـحة في شـكل *b*2.3 قيم Π عند العتبة Γ يمكن استنتاجها من جدول 1.3 : قارن مثلاً γ للماء- هواء ولورات الصوديوم- هواء ، وتعطي $Nm\ m^{-1}$ $\Pi = 19$ القيمة العظمى لـــ Π تختلف بين المواد الناشـرة ، لكثير من المواد الناشـرة تكون القيمة مساوية للسطوح الفاصلة بين هواء- ماء وزيت- ماء .

يعتمد معدل الادمصاص للمادة الناشرة أساساً على تركيزها ، والتي سوف تنقل للسطح بواسـطة الانتشـار ، إذا كان تركيزها c والحمل السطحي Γ ، طبقة بالقرب من السطح سمكها Γ/c سوف تكفي لإمداد المادة الناشرة ، تطبيق معادلة بسيطة مثل $t_{0.5}D = L^2$ ، حيث D هو معامل الانتشار و $t_{0.5}$ الوقت المطلوب لفرق تركيز فوق مسافة L ونحصل على المعادلة التالية :

$$t_{0.5} = \Gamma^2 / DC^2 \qquad (1.3)$$

تكون في المحاليل المائية D عادة 10^{-10} متر2.ثانية-1 . في اللبن المادة الناشـرة الأكثر شـيوعاً هي بروتينات المصـــل ، عند تركيز حوالي 6 كيلوجرام.متر-3 تعطي قيمة حمل ســطح Γ قدرها 3 مليجرام.متر-2 . يؤدي تطبيق المعادلة 1.3 إلى $t_{0.5} = 2.5$ ملي ثانية . سـوف يكتمل الادمصـاص في 10 أو 20 مرة $t_{.05}$ أي في حوالي ثانية واحدة . إذا كان تركيز المادة الناشـــرة منخفضـــاً ، فإن

الادمصاص سوف يأخذ وقتاً أطول ، ولكن التقليب سوف يسرع معدل الادمصاص بصورة ملموسة . وبمعنى آخر سوف يكون الادمصاص دائماً أسرع في التطبيق .

3.1.1.3 المواد الناشرة *Surfactants*

هناك نوعان أساسيان للمواد الناشرة ، مركبات مترددة ذات جزيئات صغيرة تسمى *amphiphiles* للقصيرة منها ، وبوليمرات خاصة البروتينات .

1. مواد محبة لكلا القطبين *Amphiphiles* ، هذه المواد نشطة السطح لأن جزيئاتها لها ذيل كاره للماء عادة من أحماض دهنية ، ومجموعة رأس محب للماء . أغلب المواد المترددة ضعيفة الذوبان في الماء ولكن تميل لتكوين جسيمات فوق تركيز معين ، تركيز الجسيمات الحرج (*CMC*) . نصل عند هذا التركيز الحرج إلى التوتر السطحي العتبي γ *Plateau* . كلما كان الحامض الدهني أطول وأكثر تركيزاً كلما كان تركيز الجسيمات الحرج منخفضاً ، والنشاط السطحي عالياً ، وعدد التوازن المحب للدهن– المحب للماء (*HLB*) للجزيئات . المادة الناشرة لها قدرة ذوبانية متساوية في الزيت والماء عند قيمة *HLB* عند 7 ، وعند قيم أقل ، يكون ذوبان المادة الناشرة في الزيت أكبر من ذوبانها في الماء ، والعكس صحيح .

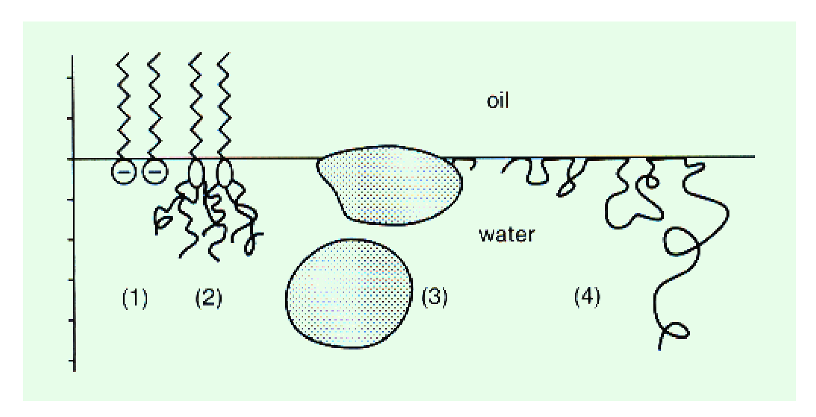
بعد المواد *Amphiphiles* الهامة هي الجليسريدات الأحادية وإسترات سوربيتان الأحماض الدهنية . والتي لها قيم توازن محب للدهن– الماء منخفضة . التوين *Tween* مشتق من إسترات سوربيتان أحماض دهنية بواسطة اتصال قليل من سلاسل إيثيلينية عديدة الأكسجين *Polyoxy ethylene* بالجزء السوربيتان (انظر شكل 3.3) ، التوينات لها عدد توازن محب للدهن– الماء عالٍ بجانب هذه المواد الناشرة المتعادلة وغير الأيونية . توجد مواد ناشرة أيونية . تشمل هذه المواد الصابون الصوديومي ، إسترات حامض اللكتيك وسلفات دوديسيل الصوديوم (*SDS*) ؛ ولهاعدد توازن محب للدهن– ماء عالٍ . الليبيدات الفسفورية هي أيضاً مواد ناشرة

أيونية ، ولكن لها قدرة ذوبان منخفضــة للغاية ماعدا *SDS* ، ويمكن أن تســتخدم جميع هذه المواد الناشرة في الأغذية وبعضها يستخدم في الآيس كريم (فصل 3.17) .

2. البروتينات *Proteins* ، هذه أيضاً جزيئات مترددة ، ولكن السبب الرئيسي لنشاطها السطحي العالي هو حجمها الكبير ، وهي تميل لتغير الوضــع النســبي لذراتها في الجزيء عند حدوث الادمصاص ، والبروتينات الكروية عادة ما يحدث لها دنترة إلى حد ما ، فمثلاً أغلب الإنزيمات تصبح غير نشطة (غير عكس) بعد الادمصاص على السطح الفاصل بين الماء- الزيت ، تأخذ التغيرات التكوينية للجزيء وقتاً طويلاً عن الوقت الذي تحتاجه عملية الادمصـــاص ، وتتراوح بين 10 ثواني (للبيتاكازين) و 15 دقيقة (للبيتا لاكتوجلوبيلين) وبالتالي تأخذ بعض الوقت قبل الوصول لتعادل قيمة γ .

يوضح شكل 3.3 كيف تستطيع الجزيئات أن يحدث لها ادمصاص على السطح الفاصل ، يحدث لجسيمات الكازين وبروتينات المصل ادمصاص على كريات الدهن أثناء عملية التجنيس (انظر فصل 5.9) .

يوضــح شــكل 2.3 فروقاً معتبرة بين خواص سـطح البروتين و المواد نشـطة السـطح *Amphiphiles* وهذه الاختلافات وضعت في القالب في إدراك أو تقدير نوعي . البروتين ذو نشاط ســطحي أكبر من المادة الأمفيفيلية *Amphiphile* بالرغم من أن تركيز الأخيرة عند قيم العتبة *Plaeau values* يبلغ 0.02% ، بينما يبلغ 0.00005% بالنسبة للبروتين . يحدث للبروتين ادمصاص بصعوبة من السطح الفاصل عندما يكون المحلول مخففاً . ومن جانب آخر يمكن أن تكون للمادة الأمفيفيلية قيمة توتر سطحي منخفضة عن البروتين . ويعني هذا أن البروتين سوف تحدث له إزاحة من السطح الفاصل بواسطة المادة الأمفيفيلية إذا كان تركيز الأخيرة عالٍ بصورة كافية . وأخيراً وكما وضح في شكل 2.3 *b* يحتاج الحمل السطحي للبروتين أن يكون أعلى من المادة الأمفيفيلية لكي نحصل على انخفاض معنوي للتوتر السطحي γ .



شكل 3.3 طريقة ادمصاص بعض المواد الناشرة للسطوح عند سطح فاصل بين الزيت– الماء . على اليسار مقياس رسم بالنانومتر (1) صابون (2) مادة التوين و (3) بروتين كروي صغير للمقارنة الجزء في السائل تم توضحيه : (4) بيتاكازين . رسم توضيحي للغاية

Figure 3.3 Mode of adsorption of some surfactants at an oil-water interface. At left is a scale of nanometers. (1) a soap, (2) a Tween, and (3) a small globular protein; for comparison, a molecule in solution is shown: (4) β-casein. Highly schematic

4.1.1.3 سطوح فاصلة منحنية *Curved interfaces*

خذ في الاعتبار قطرة دائرية أو فقاعة ، يحاول التوتر السـطحي أن ينقص المسـاحة السـطحية أي يحاول أن يضـغط الفقاعة . وهذا يعني أن الضـغط داخل الفقاعة ازداد . يمكن حساب قوة هذا الضغط المسمى ضغط لابلاس *Laplace pressure* (للكرة) بواسطة المعادلة :

$$P_{La} = 4\gamma / d \qquad (2.3)$$

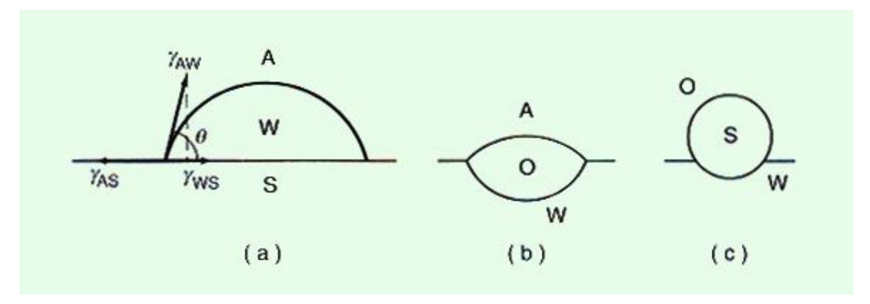
حيث d هو قطر الدائرة . في العادة الضغط على الجانب المحدب للسطح . المنحني يكون أعلى من الجانب المقعر ، وكلما ازداد الانحناء تزداد قيمة التوتر السطحي γ . وعلى ذلك يكون من الصعب أن نشـوه قطرة صـغيرة . ويكون هذا جانباً رئيسـياً في تكسـير كريات الدهن أثناء عملية التجنيس (فصـل 3.9) . لبروتين صـغير مغلف بقطرة مسـتحلب قطرها واحد ميكرومتر وتوترها السـطحي 10 ملي نيوتن . متر$^{-1}$ ($\gamma = 10 mN.m^{-1}$) ، وضغط لابلاس سوف يكون $4.10^{4} Pa$ أو 0.4 بار .

نتيجة أخرى هي أن الذوبانية (*S*) لمادة داخل جزيء صغير تكون أعلى من الذوبانية عند سطح فاصل مسطح . ويمكن حسابها من معادلة كيلفن :

$$\frac{S(r)}{S_{oo}} = \exp\left[\frac{2\gamma V_D}{rRT}\right] \qquad (3.3)$$

حيث *r* هي نصف القطر ، *VD* الحجم المولاري للحالة المنتشرة *Disperse phase* (متر^3 لكل مول) و $RT = 2.5$ جول.مول$^{-1}$ ($KJ.mol^{-1}$) . ويصح استعمال معادلة كيلفن للأجسام الصلبة والسائلة والغازية ، ولكن تكون زيادة الذوبانية أكثر تصوراً بالنسبة لفقاعات الغاز ، يزداد الضغط داخل الفقاعة ويتناسب ذوبان الغاز مع ضغطه . ولكي نعطي مثالاً لفقاعة هواء صغيرة قطرها 10 ميكرومتر في اللبن سوف تزداد الذوبانية بحوالي 20% نتيجة اعتماد الذوبانية على انحناء السطح هي نضج اوستوالد *Ostwald ripening* الموضحة في شكل 1.3 . تنتشر المادة في جزيئات صغيرة تدريجياً خلال الوسط المستمر *continuous medium* تنمو ناحية الجزيئات الكبيرة ، الأخيرة والأولى تختفي ، يكون هذا واضحاً خاصة في الرغوة (حيث تسمى الظاهرة عادة اللاتناسب *disproportionation*) لأن الهواء يكون أحسن ذوباناً في الماء . يمكن أن يحدث نضج اوستوالد معنوي في دقائق . في مستحلبات زيت في الماء لا يمكن ملاحظة نضج اوستوالد : ذوبانية الجلسريدات الثلاثية زيت في الماء يمكن اهمالها . وعلى ذلك يكون معدل انتشار الزيت مهملاً . يمكن أن تُظهر في مستحلبات الماء في الزيت نضج اوستوالد ، لأن الماء له ذوبانية صغيرة ولكن معنوية في الزيت . انظر الملحق وجدول 4*A* .

باستخدام البروتين كمادة ناشرة سطح *surfactant* العملية يمكن أن تُؤخر لأن الفقاعة عندما تصغر في الحجم . تزداد قيمة حمل السطح *T* ، ويسبب هذا انخفاض التوتر السطحي ، كما هو موضح في شكل 2.3 *b* . ويسبب هذا انخفاض ضغط لابلاس ، ويؤخر نضج اوستوالد . ومع ذلك زيادة المواد الناشرة في طبقة السطح سوف يمتص وقيمة التوتر السطحي الأصلي سوف ترجع . سوف يحدث هذا بسرعة إذا كانت المادة الناشرة هي مادة أمفيفيلية *Amphiphile* ، ولكن البروتين يمتص بقلة . يمكن للبروتين في هذه الطريقة أن يبطئ عملية النضج .



شـــكل 4.3 زوايا التلامس (θ) ، نماذج أنظمة الحالات الثلاث A = هواء ، O = زيت ، S = صـــلب ، و W = ماء في (a) العلاقة $\gamma_{As} = \gamma_{ws} + \gamma_{AW} \cos\theta$ تطبق

Figure 3.4 Contact angles (θ). Examples of three-phase systems: A = air, O = oil, S = solid. and W = water. In (a) the relation $\gamma_{AS} = \gamma_{ws} + \gamma_{AW} \cos\theta$ holds

5.1.1.3 زوايا التلامس *Contact Angles*

عندما تتقابل الحالات الثلاث ، يمكن أن تتحدد الزوايا التي تكونها السـطوح الفاصـلة مع بعضـها بواسـطة ضـغوط السـطوح الفاصـلة وهذا تم توضـيحه في شـكل 4.3 إذا كان أحد الأنظمة صـلباً ، يتميز الشـكل الهندسي بزاوية تلامس واحدة ، والتي تكون بواسطة القياسـات التقليدية في الحالة السـائلة الأكثر كثافة . يتم حسـاب هذه الزاوية بواسـطة معادلة يونج *Young eqauation* بالنسبة للحالة الموضحة في شكل 4.3 *a* فتقرأ :

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{As} - \gamma_{ws}}{\gamma_{Aw}} \qquad \dots (4.3)$$

إذا كـانـت $\gamma_{AW} < (\gamma_{WS} - \gamma_{AS})$ تكون قيمـة المعـادلـة $\cos\theta > 1$ ، والتي تكون مســتحيلـة الحدوث . سـوف ينتشـر الماء فجائياً في هذه الحالة فوق الحالة الصـلبة ، لأن هذا الوضـع يعطي الطاقة الحرة الأقل للسـطح الفاصـل . سـوف ينتشـر الزيت في الحالة المذكورة في شـكل 64.3 فوق سطح الماء إذا كانت $\gamma_{AW} > (\gamma_{OW} + \gamma_{AO})$ انظر التحت فصل 32.3 .

بالنســبة للحالة الموجودة في شـــكل 4.3 *a* الشــرط $\gamma_{WS} > (\gamma_{AW} + \gamma_{AS})$ يقتضـــي $\theta > 180$ درجة والذي يعني أن السـائل لا يمكن أن يبلل الحالة الصلبة . يطبق برهان مماثل في الحالة المرسومة في *c* : حيث $\theta > 180^\circ$. سوف لا يصبح الجزء الصلب ملتصقاً بالسطح الفاصل ويبقى

في الحالة الزيتية . تميل بلورات الدهن إلى الادمصـــاص عند الســـطح الفاصـــل زيت– ماء ، كما تم تمثيله في الشـــكل ، حيـث $\theta = 150$ درجـة (مقـاســـة في الحـالـة الســـائلـة) . يمكن أن يحدث ادمصـــاص لكريات الدهن على ســـطح الفاصـــل هواء– ماء . الجزيئات أكبر من 20 نانومتر ، ثم تكون بعد ذلك متماسـكة بشـدة عند السـطح الفاصـل . زاوية التماس أيضـاً هي متغير هام في ظاهرة البلل– مثلاً – في التنظيف (إزالة الدهن عن ســـطح صـــلب) وفي انتشـــار المساحيق (انظر تحت الفصل 5.4.20) .

يمكن أن تصبح تحت بعض الظروف جسيمات الكازين مدمصة على السطوح الفاصلة زيت – ماء وهواء – ماء ، ولكنها لا تســـتطيع أن تعتبر جزيئات صـــلبة وليس لها حدود حالة *phase bourdary* ومن ثم فالأسباب التي أعطيت هنا لم لا تكون مناسبة . انظر فصل 5.9 .

6.1.1.3 وظائف المواد المنتشرة *Functions of Surfactants*

ويمكن أن يكون لوجود المواد الناشـــرة في نظام تأثيرات مختلفة . ومن ثم تســـتعمل المواد الناشـــرة لتحقيق عدد من الوظائف ، تؤدي بعض التغيرات إلى تأثيرات هامة يتم ذكرها في النص التالي :

1. ضـغط لابلاس *Laplace pressure* ، تخفض إضـافة المواد الناشـرة عامة التوتر السـطحي ، وبالتالي ضـغط لابلاس . تشـوه هذه التسـهيلات جزيئات السـائل وبالتالي تكوين جزيئات صغيرة أثناء الاستحلال وتكوين الرغوة .
2. نضـج استوالد *Ostwald ripening* ، يقل معدل نضـج استوالد بسبب انخفاض ضغط السطح الفاصـل ، وفي حالة البروتينات مثل المواد الناشـرة ، يسـبب مقاومة البروتينات لكي تصـبح مدمصة .
3. زاوية التماس *Contact angle* ، تؤثر المواد الناشـرة على زوايا التماس ، وبالتالي على التصـاق الجزيئات عند السـطح الفاصـل وظاهرة البلل ، شـاملة ميل سـائل منظف لإزالة الأوسـاخ من السـطوح الصـلبة ، يمكن أيضاً أن تؤثر زاوية التماس على وجود أو على معدل التجمع الجزيئي (انظر تحت فصل 2.2.2.3) .

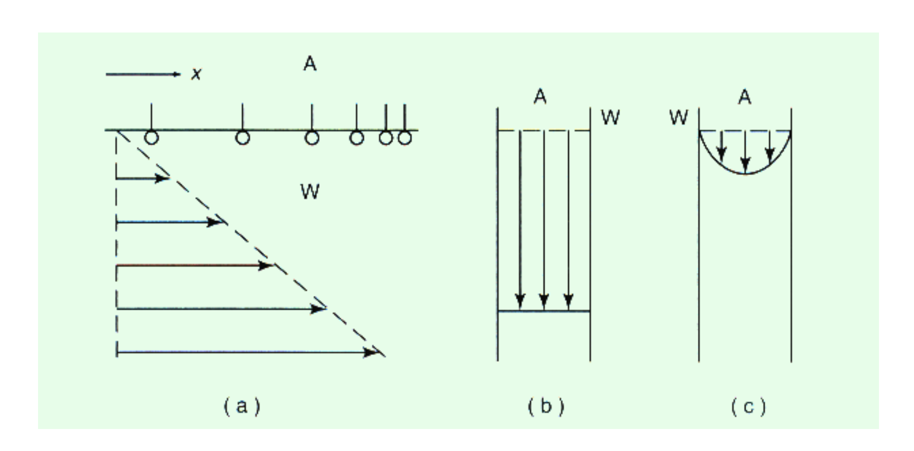
4. درجات ميل التوتر السطحي *Surface tension gradients* ، التوتر السطحي عند سطح نظيف هو نفسه في كل مكان إذا وجدت المادة الناشرة ، فإن التوتر السطحي يمكن أن يتغير من مكان لآخر . وسوف يحدث هذا عندما ينساب السائل عبر السطح : سوف يكسح (يكنس) جزيئات المادة الناشرة أسفل التيار *downstream* ، كما هو موضح في شكل 5.3 *a* ، والذي يسبب تكون درجات ميل توتر سطحي ، يحدث هذا الميل $\frac{d_\gamma}{d_x}$ (حيث x هي المسافة) ضغطاً على السائل . السائل المناسب يحدث ضغطاً على السطح يحدث قوته تساوي اللزوجة *X* معدل قص *shear rate* . إذا كان ميل التوتر السطحي يمكن أن يكون كبيراً بدرجة كافية ، سوف تصبح هذه الضغوط مساوية وعكسية ، والتي تقضي أن السطح توقف ولا يتحرك في اتجاه مماسي . ويمكن أن تكون هذه الخاصية الأكثر أهمية للمواد الناشرة في التقنية ، وكلها قادرة على تكوين الرغاوي والمستحلبات الممكنة . بدون مواد ناشرة سوف ينساب السائل بسرعة جداً من الفجوة بين فقاعتين كما هو مبين في شكل 5.3 *b* لأن *A/W* لا تستطيع تقديم أي مقاومة للسطح ، وسوف يسبب هذا عادة تجمعاً للفقاعات في الحال ، إذا كانت المادة الناشرة موجودة فإن الصرف سوف يكون أكثر بطئاً كما هو مبين في *c* .

5. التداخلات شبه الغروية *Colloidal interaction* ، ادمصاص المواد الناشرة على الجزيئات يمكن أن يؤثر في معظم الحالات تزيد قوى التجاذب شبه الغروية المتنافرة بين هذه الجزيئات (كما سوف يوضح في تحت الفصل 2.1.3) وعلى ذلك فإنها تحدد إما سوف تتجمع أم لا ، وظيفة رئيسية للمواد الناشرة هي منع الجزيئات من التجمع .

6. الالتحام *Coalescence* ، وظيفة رئيسية أخرى للمواد الناشرة هي منع التحام قطرات المستحلب وفقاعات الرغاوي ، تعتمد في أغلب الأحيان هذه الوظيفة على جزء معتبر ، ولكن ليس بالكامل على التنافر شبه الغروي الناتج . تختلف المواد الناشرة كثيراً في قدرتها على منع الالتحام . بعضها يمكن حتى تشجيعه تحت بعض الظروف ، فمثلاً يمكن أن تحل جزيئات

المواد الناشرة الصغيرة محل البروتينات من السطح الفاصل ويمكن أن تسبب عدم الثبات . وهذا يستخدم في عمل الآيس كريم (فصل 3.17) .

7. تكوين الجسيمات *Micellization* كما ذكر سابقاً ، تكون كثير من الجزيئات الصغيرة للمواد الناشرة جسيمات في الماء فوق تركيز الجسيمات الحرج (*CMC*) ، يمكن أن تأوي هذه الجسيمات بداخلها جزيئات دهن ، يكون هذا جانباً هاماً في مواد التنظيف .



شكل 5.3 درجات ميل التوتر السطحي عند سطح فاصل هواء- ماء الذي ينتج بواسطة التدفق(*a*) التدفق القصي عبر السطح شاملة ميل جزيئات المادة الناشرة ، (*b*) صرف الماءمن شريط عمودي في غياب مادة ناشرة (c) صرف الماء من شريط عمودي في وجود مادة ناشرة

Figure 3.5 Surface tension gradients at an A/W surface induced by flow. (a) Shear flow along the surface inducing a gradient of surfactant molecules. (b) Drainage of water from a vertical film in the absence of surfactant. (c), Same, in the presence of surfactant

2.1.3 التداخلات شبه الغروية *Colloidal Interactions*

يعتبر المشتغلون في شبه الغرويات ، أن الطاقة الحرة V هي الطاقة اللازمة لجعل جزيئات من مسافة منفصلة لا نهائية *infinite separation distance* إلى مسافة متقاربة h . إذا كانت

الطاقة المنطلقة موجبة يكون لدينا تنافر نهائي بين الجزيئات ، أما إذا كانت سالبة فيحدث انجذاب نهائي . عادة ما تميز الطاقة الحرة المتداخلة بوحدات KT (حوالي 4.10^{-21} جول) لأن ذلك مقياس لمتوسط حركة وضع الجزيئات . وعلى ذلك $KT > V$ ويمكن عادة إهمالها .

لكي نوضح نتيجة التداخلات ، سوف نأخذ في الاعتبار منحنى 2 في شكل 6.3 . الجزيئات القادمة من مسافة كبيرة من المحتمل أنها سوف تصل بالقرب من C وعند ذلك تسمى القيمة الأدنى الثانوية في المنحنى . في المثال طاقة التداخل الحر الأدنى هي حوالي 3 مرات KT والذي يعني أن الجزيئات لها ميل للبقاء معاً عند هذه المسافة ، أي أنها مجمعة . عادة يمكن أن تنتشر الجزيئات في تجمع بعيداً عن بعضها ، تكون فرصة عمل ذلك أصغر ، مثل الأدنى الثانوية تكون أعمق ، ويمكن أيضاً أن تنتشر أكثر ناحية كل منها ، ولكن تصبح قريبة جداً ، ويجب عليها أن تمر فوق الأعلى بالقرب من B . في الشكل الارتفاع الأعلى حوالي 10 KT وهذا يعني أن احتمالية عمل ذلك تكون صغيرة (أي مرة في 1000 مقابلة بين جزيئين) . وإذا كان كذلك فإنها تصل إلى الأدنى الأولى A ويكون هذا عادة بعمق كافٍ لكي تمنع عدم التجمع . عند انفصال صغير جداً ولنقل $0.5 > h$ نانومتر يوجد دائماً تنافر قوي بين الجزيئات (تنافر لب صلب *hard-core repulsion*) . لاحظ أيضاً أن المسافة التي عبرها تكون التداخلات شبه الغروية هامة وتكون صغيرة للغاية ، نادراً ما تكون فوق 20 نانومتر ، والتي تكون نسبة صغيرة من قطر الجزيء .

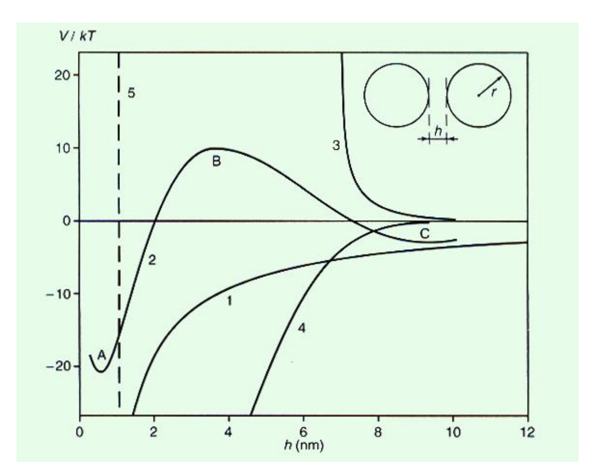
شكل منحنى التداخل هو الذي سوف يحدد إما أن الجزيئات تتجمع أو أن التجمع يكون منعكساً . يمكن للمنحنى في عدد من الأوضاع أن يحصى من النظرية ومؤشرات مقاسة ، في النظرية الكلاسيكية *DLVO* عن الثبات شبه الغروي (سميت كذلك عن *Deryagin* ، *Landau* و *Verway* و *Overbeek*) تجاذب فاندرفالز *Vander Waals* والتنافر الإلكتروستاتيكي *electrostatic* تم وصفه في الجزيئات شبه الغروية في اللبن والمنتجات اللبنية، عادة ما تكون هذه الحسابات غير دقيقة بصورة كافية ، وبالتالي سوف نعطي بعض العلاقات النوعية ، وهنا يمكن أن يساعد القارئ في فهم العوامل ذات الأهمية في الثبات شبه الغروي .

1.2.1.3 تجاذب فاندرفالز *Vander Waals Attraction*

تعمل قوى تجاذب فاندرفالز بين الجزيئات والجسـيمات . لجزيئان متسـاويان القطر r منتشرة في وسط آخر . يمكن حساب طاقة التجاذب الحر من المعادلة :

$$V_{vdw} = \frac{Ar}{12h} \qquad (3.5)$$

بفرض $r > h$ ثابت هاماكير *Hamaker constant* (A) يعتمد على مادة الجزيئات والوسـط لكريات دهن اللبن في بلازما اللبن $A = 0.75\,TK$. المنحنى 1 في شـكل 6.3 يعطي مثالاً ، لتجمع بلورات الدهن في الزيت كما ذكر في تحت فصل 7.5.3.2 يسببه تجاذب فاندرفالز ، ليس هناك قوة تنافر في هذه الحالة . ماعدا تنافر اللب الصلب .



شكل 6.3 أمثلة لطاقة التداخل الحر V بين جزيئين كدالة للمسافةالفاصلة بينهما h . المنحنى (1) تجاذب فاندرفالز (2) تداخل *DLVO* (3) التنافر المجســم (4) اســتنزاف التجاذبات انظر النص لزيادة الفهم ، الخط المتقطع 5 يعطي سمك للطبقة المزدوجة الكهربية (*I/K*) في اللبن . يوضــح الرســم المقحم في الجانب الأيسـر للشـكل المسافة بين الجزيئين

Figure 3.6 Examples of the interaction free energy *V* between two particles as a function of their separation distance *h*. Curve (1) van der Waals attraction; (2) DLVO-interaction; (3) steric repulsion; (4) depletion interaction. See the text for further explanation. The broken line 5 gives the thickness of the electrical double layer (IlK") in milk. The insert shows the geometry considered

2.2.1.3 التنافر الإليكتروستاتيكي *Electrostatic Repulsion*

تحمل جزيئات في وسط مائي دائماً شحنة كهربية . يؤدي هذا إلى فرق جهد كهربي على السطح ψ_0 في المنتجات اللبنية . تكون القيم المطلقة لفرق جهد السطح عامة تحت 25 ميلي فولت (mV) . أمثلة تم تدوينها في شكل 7.3 ، يلاحظ أن فروق الجهد هذه تكون سالبة عند الأس الهيدروجيني الفسيولوجي وتصبح قيمته صفر عند نقطة الأس الهيدروجيني المتساوي .

ونتيجة لشحنة السطح السالبة ، فإن الكاتيونات تتراكم بالقرب من السطح ، أما الأنيونات فتميل إلى البقاء بعيداً ، يتم تعادل الشحنة عند مسافة من السطح ويصل فرق الجهد إلى صفر . تسمى الطبقة التي يحدث فوقها الطبقة المزدوجة الكهربية . (الجزيئات المتحركة خلال السائل تأخذ الشحنة السالبة معها ، ولكن جزيئات الماء يمكن أن تنتشر داخل وخارج الطبقة المزدوجة) . يمكن حساب تحلل فرق الجهد *Potential decay* مع المسافة h من السطح من المعادلة :

$$\theta = \psi_0 e^{-kh} \qquad (3.6\ a)$$

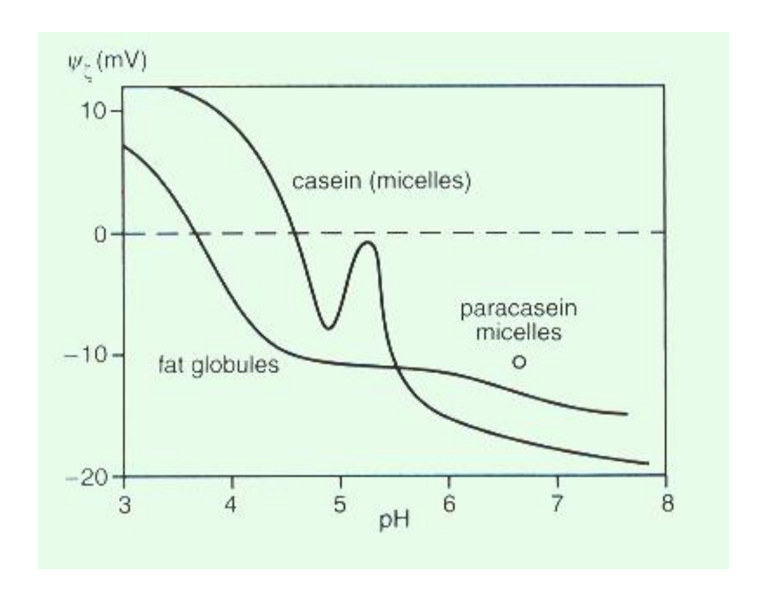
مؤشر الحاجب الكهربي κ يمكن حسابه من المعادلة :

$$\frac{1}{\kappa} = 0.3 / \sqrt{I} \qquad (3.6\ b)$$

حيث $\frac{1}{K}$ تكون بالنانومترات ، و I بالمولات لكل لتر . انظر تحت فصل 2.2.2 والمعادلة 3.2 للقوة الأيونية I . و $\frac{1}{K}$ تسمى طول ديباي *Debye length* أو السُمك الإسمي للطبقة المزدوجة الكهربية . بالنسبة لـ $h = 1/K$ ، ينخفض فرق الجهد إلى $e^{-1} = 0.37$ مرة ψ_0 . عند $h = 3/K$ ، يكون الانخفاض هو $e^{-3} = 0.05$ ، والذي يعني عادة أن فرق الجهد يمكن إهماله على الأقل في اللبن للقيم التالية :

ميليمولار	1	10	10	$1 = \Gamma$
نانومتر	0.3	1	3	$10 = 1/k$

في اللبن $I = 73$ ميليمول / لتر (تحت فصل 2.2.2) ومن ثم $1/K = 1.1$ نانومتر .



شكل 7.3 فرق الجهد زيتا (ψ_0) للجزيئات في اللبن عند أس هيدروجيني متعدد نتائج تقريبية عند درجة حرارة الغرفة

Figure 3.7 Zeta potential (Ψ_ζ) of particles in milk at various pH. Approximate results at room temperature. (Adapted from P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984)

عندما تقترب الجزيئات المشحونة من بعضها ، تتراكب طبقاتها المزدوجة ، يؤدي هذا إلى تنافر، وسوف نقدم النظرية كاملة ، ولكن هناك اعتماد تقريبي للتنافر على فرق الجهد السطحي والمسافة .

$$Vel \ \alpha \ \psi_0^2 e^{-kh} \qquad (3.7)$$

مثال لمجموع $V_{el} + V_{vdw}$ كدالة لـــ h تم توضيحه في شكل 6.3 المنحنى الثاني . إذا انخفض فرق الجهد السطحي (بانخفاض الأس الهيدروجيني) أو زيادة القوة الأيونية ، سوف يصبح الحد الأقصى عند B الأقل أو حتى يختفي ، ســوف تتجمع الجزيئات للتغيرات العكســية ، ســوف يزداد الحد الأقصـــى ويختفي الأدنى الثانوي عند C ، شـــريطة أن الثبات يتحول إلى التجمع . عملياً الأس الهيدروجيني والقوة الأيونية هما المتغيران الهامان .

3.2.1.3 التنافر الإستاتيكي *Steric Repulsion*

عندما تبرز سلاسل بوليمرات عديدة من سطح مكونة طبقة شعرية *hairy layer* ، فإن التنافر يمكن أن يحدث إذا تقاربت جزيئاته بدرجة كافية ، مما يؤدي إلى تراكب هذه الطبقات . يزداد تركيز البوليمر بعدئذ في المكان مسبباً زيادة الضغط الإسموزي ، لكي نقلل الضغط الإسموزي يمتص المذيب داخل الفجوة ، والتي تزيح الجزيئات جانباً ، وعندئذ فإن قوة التنافر تعمل ، والتي يمكن أن تكون قوية جداً إذا كانت كثافة ســلســـلة البوليمر في الطبقة عالية ، تكون الطبقة عدة نانومترات في الســـمك ، وتكون نوعية المذيب جيدة (في المذيب الجيد تحيط جزئيات المذيب بجزيئات المذاب ، أو في الحالة الموجودة السلاسل البارزة) مثال للتنافر المجسم بواسطة الطبقة الرقيقة تم توضــيحه في شــكل 6.3 ومنحنى 3 ، ومن الملاحظ أن قوى التنافر تزداد مع نقص المســافة بين الجزيئات .

في المنتجات اللبنية ، ســلســلة البوليمر هي جزء من البروتين ، هذه الســلاســل دائماً ما تكون مشحونة وإذا كانت الشحنة كبيرة بشكل كافٍ ، وهذا يقتضي نوعية مذيب جيدة . ويمكن أيضـــاً أن يكون ســـبب التنافر وجود مكونات إلكتروســـتاتيكية ، ويمكن أن نتكلم عن تنافر إلكتروستاتيكي .

4.2.1.3 استنزاف التجاذبات *Depletion Interaction*

بجانب سلاسل البوليمرات البارزة من السطح ، يمكن أن تؤثر جزيئات البوليمر في المحلول في التجاذبات شـبه الغروية . ولنأخذ مسـتحلباً يحتوي على بعض البوليمرات الذائبة مثل الزنثان ، الملف العشـوائي لجزيئات الزنثان والتي لها نصـف قطر قدره 30 نانومتر ، لا تسـتطيع أن تقترب من سطح قطرات المستحلب بمسافة مثل هذا النصف قطر ، وعلى ذلك تستنزف طبقة من السائل من البوليمر . أو بمعنى آخر أنها ليست متوفرة كمذيب للبوليمر ، يكون هذا مشابهاً للوضع المرسوم في شـكل 2.10 ولو أنها بمقياس رسـم مختلف ، يزداد الضـغط الإسموزي لمحلول البوليمر . إذا تجمعت القطرات الآن ، تتراكب الطبقات المسـتنزفة فوق بعضـها ، تصـبح كميات مذيب متوفرة للزنثان ، ينخفض الضـغط الإسموزي وعلى ذلك يوجد قوة دافقة للتجمع ، مثال تم تسـجيله في شـكل 6.3 المنحنى 4 . إذا كان التأثير قوياً بصورة كافية كما في الشكل ، فإن التجمع سوف يحدث .

يمكن أن يحدث التأثير في اللبن عندما تضـاف سـكريات عديدة مناسـبة بكميات كافية . تسـبب جسـيمات الكازين اسـتنزافاً للتجاذبات بين كريات الدهن ، ولكن التأثير يكون ضـعيفاً للغاية ليحدث تجمع الكريات .

5.2.1.3 تداخلات أخرى *Other Interactions*

يمكن أن تحدث أنواع أخرى من تداخلات جاذبة ، خاصـــة إذا كانت الجزيئات مغطاة بطبقة شعرية . هذا يتم لأن التنافر الإستاتيكي لا يمنع الاتصال بين السلاسل البارزة . إذا احتوت السطوح أو الشعيرات مجاميع محددة من شحنات موجبة وسالبة ، التجاذب الإلكتروستاتيكي يمكن أن يسـبب تجمعاً ، وحتى إذا كانت الشـحنات سـالبة فإنه يمكن أن تكون الجسـور نتيجة لإضـافة بوليمر مشـحون بشـحنة موجبة ، أو بعض الحالات بواسـطة كاتيونات ثنائية التكافؤ مثل Ca^{2+} . يمكن أيضـاً أن تتجمع الجزيئات البروتينية أثناء المعاملة الحرارية بسـبب الروابط العرضـية الكيميائية المتكونة بين مجموعات الجانب المعرض للبروتينات (انظر تحت فصـــل 2.2.7) . تتجمع قطرات

مســـتحلب كبيرة مغطى بالبروتين تحت ظروف مثل الأس الهيدروجيني ، حيث يكون البروتين غير ذائب .

3.1.3 التجمع *Aggrigation*

يحدث التجمع إذا كانت الجزيئات قريبة من بعضـــها وتبقى على هذه الحالة لمدة طويلة، عن عما تفعله في غياب القوى الجاذبة لها . المصطلح تلبد *Flocculation* وتخثر *Coagulation* تستخدم أيضاً . تشير الحالة الأولى عادة إلى التجمع الضعيف والعكس ، بينما يشير الاصطلاح الثاني للتجمع غير العكسي .

التجمع عملية هامة لأن الجزيئات المتجمعة لها خواص تختلف عن الجزيئات المنفردة ، مثل الترســـيب الســـريع أو تســـبب زيادة اللزوجة . التجمع هو عادة ما تحتاجه القطرات لكي تلتحم ، لأن القطرات عامة يجب أن تبقى بالقرب من بعضـــها لمدة طويلة من الوقت لكي يحدث الالتحام . بالإضافة إلى ذلك تجمع الجزيئات يمكن أن يؤدي لتكون الهلام .

1.3.1.3 معدل التجمع *Aggregation Rate*

سوف تلاقي الجزيئات التي تتحرك عشوائياً بواسطة حركة برونينية غالباً بعضها ويمكن بعد ذلك أن تتجمع . وإذا كان الحال كذلك ، فإن معدل هذا التجمع المحيطي *Perikinetic aggregation* والذي هو انخفاض في عدد تركيز الجزيئات N مع الوقت أي أن $-dN/dt$ تحسب كالتالي :

$$J_{peri} = \frac{4KTN^2}{3\eta w} \qquad (3.8)$$

حيث KT لها معناها العادي ، η هي لزوجة الســائل المســتمرة *Continous liquid* و w هي عامل الثبات ، إذا لم يوجد ما يعوق التجمع $w = 1$ وعلى ذلك فإن w هي العامل الذي بواسطته

يُبطئ التجمع ، والسبب الرئيسي في أن $w > 1$ هو التنافر شبه الغروي ، كما تمت مناقشته في تحت الفصل 2.1.3 الوقت الذي تحتاجه قيمة N لتنصف هو :

$$t_{0.5} = \frac{\pi d^3 \eta w}{8KT\phi} \qquad (3.9)$$

حيث ϕ هو الكســـر الحجمي للجزيئات ، و d قطرها . وعلى افتراض أن $w = 1$. هذه النتائج لجسيمات الكازين في اللبن في $t_{0.5} = 0.2$ ثانية ، وبالنسبة لكريات الدهن 3 دقائق .

يمكن أيضاً أن تقابل الجزيئات بعضها بسبب التقليب ، أو أكثر دقة بواسطة درجة ميل السرعة ψ (ثانية$^{-1}$) في السائل . معدل التجمع الصحيح *Orthokinetic Aggregation* الذي يمكن حسابه بواسطة :

$$J_{ortho} = \frac{4\phi N \psi}{\pi w} \qquad (3.10)$$

وبفرض قيمة W هي نفسها في كلتا الحالتين (والتي لا تكون دائماً صحيحة) سوف تكون النسبة بين التجمع المحيطي *perikinetic* والتجمع الصحيح هي :

$$\frac{J_{ortho}}{J_{peri}} = \frac{d^3 \eta \psi}{2KT} \qquad (3.11)$$

والتي تقل في الماء عند درجة حرارة الغرفة إلى $d^3\psi 0.12$ إذا حسبت d بالميكرومتر ، وهذا يعني أن درجات ميل السرعة تكون صغيرة جداً 15^{-1} سوف تسبب تجمع كريات الدهن في اللبن بعامل 10 مرات أسرع من التجمع المحيطي *Perikinetic* بالنسبة لجسيمات الكازين ، سوف يهمل دائماً التجمع الصحيح *Orthokinetic Aggregation* .

2.3.1.3 التجمع الكسري *Fractal Aggregation*

تكون الجزيئات تجمعات في التجمع المحيطي ، والتي سوف تتجمع مع تجمعات أخرى لكي تكون تجمعات أكبر وهكذا ، يجهز التجمع الكسري التجمعات الكبيرة التي لها تركيب مفتوح، كما هو موضح في شكل 8.3 . تطبق العلاقة التالية ولو ببعض التغيرات الحسابية :

$$N_p = (R/a)^D \qquad (3.12)$$

حيث N_p هو عدد الجزيئات في التجمع ، R هي نصف قطر التجمع (انظر شكل 8.3) و a هي نصف قطر الجزيء . الأس D يسمى الكسر البعدي *Fractal dimensionality* وتكون قيمته غالباً أقل من 3 ، وتتراوح عادة بين 1.7 و 2.5 . وهذا يعني أن تجمعاً كبيراً سوف يكون أكثر انفتاحاً (يجعله مسامياً وأقل كثافة) عن التجمع الصغير . ويتراص العدد الأقصى من الجزيئات في كرة نصف قطرها R ويمكن حسابه من المعادلة :

$$R_m = (R/a)^3 \qquad (3.13)$$

لكسر الجزيئات الحجمي في تجمع يمكن أن يكون لدينا الآن .

$$\varphi_A = N_P / N_m = (R/a)^{D-3} \qquad (3.14)$$

ولأن الكسر سالباً ، فإن قيمة أكبر لـ R سوف تؤدي إلى قيمة أصغر لـ φ_A وبالتالي إلى تجمعات مفتوحة أكثر .

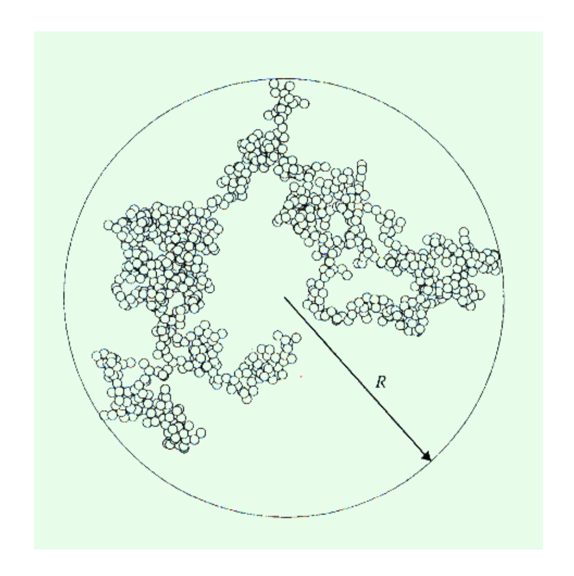
تكوين الهلام *Gel formation*

هذه العلاقة لها نتائج هامة . كلما يتقدم التجمع يزداد الحجم الكلي للتجمعات (بينما يقل عدد التجمعات) حتى يمتلأ النظام كله ويكون شبكة مالئة للفراغ *Space-filling network* أي هلام ، سوف يحدث هذا عندما يصبح متوسطاً φ_A مساوياً لكسر الجزيئات الحجمي الأصلي في النظام φ . نصف القطر المتجمع في لحظة تكون الهلام يكون :

$$R_g = a\varphi^{y(D-3)} \qquad (3.15\ a)$$

والوقت الذي يحتاجه تكوين الهلام $t_g = t_{0.5}\varphi^{D/(D-3)}$ حيث $t_{0.5}$ تحسب من المعادلة 9.3 مثل هذا "الهلام الكسري *fractal gel*" يميز بواسطة أشرطة ملتوية من الجزيئات (انظر شكل 8.3) متبادلة مع عقد أسمك ، تاركة ثقوباً من أحجام مختلفة . الثقوب الأكبر في الهلام لها أنصاف أقطار مماثلة لـ R_g ، فمثلاً إذا كانت $a = 0.5$ ميكرومتر ، $\varphi = 0.1$ و $D = 2.0$ فإننا نحصل على $R_g = 5$ ميكرومتر ، وعلى ذلك حجم الثقب الأعلى لبعض R_g قيمته 10 ميكرومتر سوف يكون الأكبر لأكبر قيمة لـ a وأصغر لـ φ ، وأكبر لـ D .

ســـوف يكون وقت التجمع في الحالة المذكورة الآن $0.1^{-2} = 100$ مرة $t_{0.5}$. بافتراض أن جسيمات الكازين سوف تتجمع دون إعاقة $(W = 1)$ وسوف يلزمها فقط 20 ثانية ، في الحقيقة W تكون أكبر من واحد ، سوف يكون وقت تكوين الهلام في هذه الحالة أقصر للقيم الصغيرة لـ a والأصغر لـ D والأكبر لـ φ .



شكل 8.3 منظر جانبي للتجمعات الكسرية لألف جزيء ، الأبعاد الكسرية تساوي 1.8

Figure 3.8 Side view (projection) of a fractal aggregate of 1000 particles, fractal dimensionality = 1.8. (Curtesy of J.H.J. van Opheusden)

بعض التعقيدات ***Some Complication***

إن النظرية كما شـــرحت هنا تكون مبســـطة للغاية ، يجب أن تحتوي كل المعادلات على ثوابت تناسبية *Proportionality constants* ، وتكون هذه عادة مجهولة ولكنها دائماً ما تكون قريبة من 1 . تؤثر بعض المتغيرات على قوة D . يتكون الهلام فقط إذا اســـتطاع التجمع أن يتقدم

بدون إعاقة ، يعني هذا غياب أي تقليب . بالإضافة إلى تلك التجمعات فإنه يمكنها أن تترسب قبل تكوين الهلام عندما تكون الجزيئات أكبر نسبياً وتختلف معنوياً في الكثافة عن الوسط .

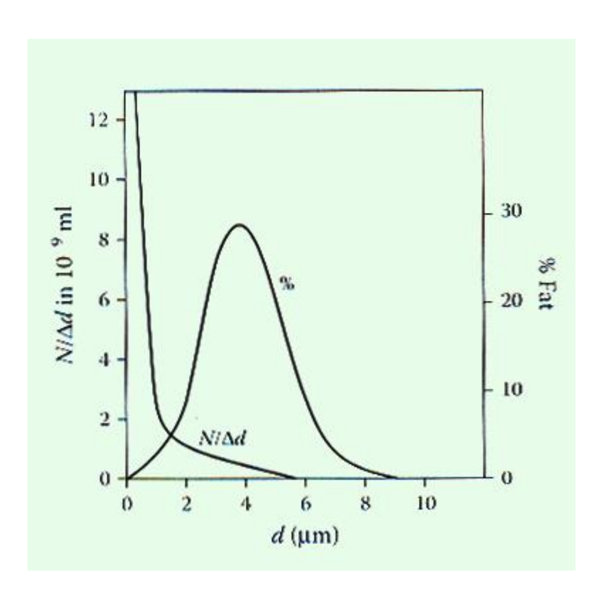
وبصفة عامة ، تكون التركيبات الكسرية معرضة للتغيير ، يمكن أن تحدث الترتيبات قصيرة الأجل في التجمعات الصغيرة المتكونة حديثاً ، وهي تميل إلى أن تصبح أكثر تماسكاً ، تكون بعد ذلك هذه التجمعات المتماسكة تراكيب كسرية ، ومن المحتمل أن تكون هلاماً ، ولكن الآن يجب أن ندخل عاملاً مؤثراً وهو قيمة a فمثلاً $a3 = a_{eff}$ ويقتضي هذا أن R_g تصبح بالتناسب أكبر . الترتيبات طويلة الأجل *Long- term rearrangements* يمكن أن تحدث بعد تكون الهلام . وسوف يناقش ذلك عند الكلام عن تدميع (خروج الشرش) هلام اللبن المنفح *Syneresis of rennet milk gels* (تحت فصل 4.4.24) يمكن أن يحدث التجمع الكسري مع جسيمات الكازين وكريات الدهن ، ومع بلورات الدهن في الزيت ، كما هو موضح في فصول عديدة من هذا الكتاب .

4.1.3 التوزيع الحجمي *Size Distribution*

يتضح من المناقشة السابقة أن خواص عديدة من التشتت *Dispersions* وخاصة الثباتية الفيزيائية يمكن أن تعتمد على حجم الجزيئات . وعلى ذلك سوف يتم مناقشة بعض الجوانب الأساسية لهذه التوزيعات باختصار للجزيئات الكروية . يكون تقريباً كل الدهن في اللبن في صورة كريات صغيرة منفصلة . ويمكن القول أن اللبن مستحلب مائي في الدهن .

تختلف كريات دهن اللبن في القطر من حوالي 0.1 إلى 15 ميكرومتر وتكون لذلك مميزة للتوزيع الحجمي . عادة يقسم مدى حجم الجزيء إلى مستويات أو صفوف حجمية ذات أقطار Δd . في الصف الحجمي i ، كان عدد الجزيئات التي لها نفس القطر d هو N_i (أو أكثر دقة بأقطار بين $d_i - 1/2\Delta d, 1/2\Delta d + d_i$) لكل وحدة حجم من السائل ، عدد التكرارات يحسب بـ $N/\Delta d$ (البعد [الطول$^{-4}$] كدالة لـ d . التكرار الحجمي الذي يمثل كمية المادة المشتتة الموجودة

في الجزيئات كدالة لـ d يمكن تمثيلها كـ $\pi N_i d_i^3 / 6\Delta d$ (البعد [الطول-1]) . ويمكن أيضاً أن نقدم التكرار الحجمي كنسبة الحجم الكلي للمادة المشتتة لكل وحدة عرض في الصف (والذي يكون مساوياً للتكرار الحجمي) انظر الأمثلة في شكل 9.3 لكريات دهن اللبن .



شكل 9.3 توزيع متوسط تكرارات الحجم لكريات الدهن في لبن الأبقار الفريزيان (dvs = 3.4) ميكرومتر ، محتوى الدهن 3.9%) العدد ($N / \Delta d$) ومكررات الحجم (نسبة الدهن) لكل ميكرومتر عرض ضد قطر الكرية

Figure 3.9 Average size frequency distribution of the fat globules in milk of Friesian cows (d_{vs} = 3.4 µm, fat content 3.9%). Number ($N/\Delta d$) and volume frequency (% of the fat) per µm class width against globule diameter. (Adapted from P. Walstra, *Neth. Milk. Dairy J.*, 23, 99, 1969)

يعطي جدول 2.3 بعض المؤشرات عن التوزيع الحجمي التي تكون مفيدة لمختلف الخصائص (المؤشر S_n يقصد به تسهيل الحسابات . الخاصية الأولى للتوزيع هي متوسطه ***average*** يمكن أن تعطى أنواع عديدة للمتوسط . وهو يعتمد على الخاصية المأخوذة في الاعتبار مثل أي نوع تكون في الاحتياج إليه ، عادة يكون لعدد متوسطات القطر $\bar{d}$ فائدة ليست كبيرة ، نحن نكون عادة

أكثر شـــغفاً في كمية المادة . بالإضـــافة إلى ذلك ، يكون العدد الكلي للجزيئات S_0 غالباً من الصعب الحصول عليه يسبب العدد الكبير نسبياً من الجزيئات الصغيرة جداً . يكون متوسط نوع القطر d_{vs} أكثر فائدة ، وهو يرجع حجم المادة المشننة إلى مساحة سطحها ، ونكون في الحاجة إليها لحساب كمية المادة الناشرة التي نحتاجها لتغطية مساحة السطح الكلي . تمت مناقشته مؤشر الترسيب H في تحت فصل 4.2.3 . متوسط المسافة الحرة × هو متوسط المسافة الخطية التي يستطيع جزئ أن يتحركه قبل أن يلامس جزيئاً آخر .

جدول 2.3 مؤشرات توزيع تكررات الحجم

Table 3.2 Parameters of Size Frequency Distributions

الأبعاد *Dimension*[3]	*Given by* محسوبة بـ	*Sympol* الرمز	*Parameter* المقياس
$[L^{n-3}]$	$\sum N_i \cdot d_i^n$	S_n	لحظة التوزيع n *nth moment of distrivution*
$[L]$	S_1 / S_0	$\bar{d}$	عدد متوسطات d *Number averae d*
$[L]$	S_3 / S_2	d_{vs}	الحجم / متوسط السطح d *Volume/surface averge d*
$[L^2]$	S_5 / S_3	H	مقياس الترسيب *Sedimentation parameter*
-	$(S_2 S_4 / S_3^2 - 1)^{1/2}$	c_5	التوزيع العرض النسبي *Relative distribution width*
-	$\pi S_3 / 6$	φ	الكسر الحجمي للجزيئات *Volume fraction of particles*[2]
$[L^{-1}]$	$\pi S_2 = 6\varphi / d_{0.5}$	A	مساحة السطح الخاص بالجزيئات *Specific surface area of particles*
$[L]$	$0.225 d_{vs} (0.74 / \varphi - 1)$	x	متوسط المساحة الحرة *Mean free distance*

ملحوظة : $N / \Delta d$ هو عدد الترددات ، d هو قطر الجزيء و L هو متوسط الطول .

Note: $N_i/\Delta d$ = the number frequency; d = particle diameter; and L = length.

لا يمكن أن يمثل التوزيع الحجمي بواسطة متوسطه المجرد . يكون عرض التوزيع هاماً بالتساوي ، ويكون العرض النسبي *relative width* أكثر فائدة من العرض المطلق *absolute width* يمكن أن يعرف العرض النسبي لـ C_s ، الانحراف القياسي في حجم الجزيء مقسوماً على d_{vs} وإذا كانت الحاجة ، فإن شكل التوزيع يمكن أيضاً أن يرسم .

2.3 كريات الدهن Fat Globules

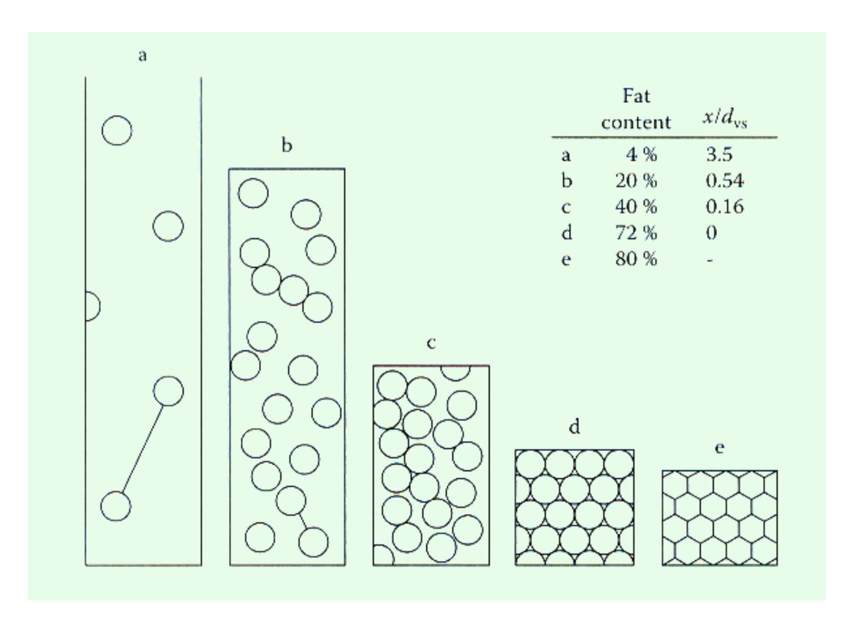
يكون كل الدهن تقريباً في اللبن في صورة كريات صغيرة منفصلة . وعلى ذلك فإن اللبن يكون مستحلباً مائياً في الدهن ، تكون الجوانب الكيموفيزيائية للمستحلب أساسية ، وخاصة عندما نأخذ في الاعتبار التغيرات التي تحدث أثناء التخزين وعمليات تصنيع اللبن .

1.2.3 الخواص *Properties*

1.1.2.3 التوزيع الحجمي *Size Distribution*

تختلف كريات دهن اللبن في القطر من حوالي 0.1 إلى 15 ميكرومتر ، كما تم توضيحه في الشكل 9.3 ويلاحظ أن اللبن يحتوي على كريات كثيرة صغيرة والتي تحتوي فقط على كسر صغير من الدهن الكلي . تمثل الكريات الأصغر من واحد ميكرومتر حوالي 75% من عدد الكريات ، حوالي 2% من كريات الدهن ، وحوالي 7% من مساحة سطح كريات الدهن ، يحتوي اللبن حديث الحلب أيضاً على كريات قليلة ذات 10 إلى 15 ميكرومتر ، على فرض أنها قد تكونت بواسطة التحام الكريات الأصغر أثناء انسيابها في القنوات الغدية .

يميز المستحلب بواسطة التوزيع الحجمي لقطراته . يساوي الكسر الحجمي للقطرات φ . محتوى الدهن 100φ دهن ρ / المنتجات ρ يساوي حوالي 90φ في اللبن عند 20 درجة مئوية ، يحدد محتوى الدهن وحجم الكريات مثل هذه المؤشرات مثل مساحة السطح النوعي $(\varphi / d_{vs}^{6} = A)$ ومتوسط المسافة الحرة (x) . تأثير المحتوى الدهني في المؤشر الأخير تم توضيحه في شكل 10.3 .



شكل 10.3 المسافة بين جزيئات الدهن في اللبن والقشدة . تذكر أن التمثيل الحقيقي لا يمكن تمثيله في شكل ثنائي الأبعاد . تمثل القطع الخطية متوسط المسافة الحرة x عن

Figure 3.10 Distance between fat globules in milk and cream. Remember that a true representation cannot be given in a two-dimensional diagram. The line segments indicate the mean free distance *x.* (Adapted from H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule,* Pudoc, Wageningen, 1974.)

يكون متوسط قطر حجم السطح d_{vs} في المتوسط حوالي 3.4 ميكرومتر للبن عدة سلالات من البقر و C_s حوالي 0.4 في المتوسط ، يكون جرام واحد من الدهن موزعاً بين حوالي 4×10^{11} كرية ، منها 10^{11} كرية تكون أكبر من واحد ميكرومتر في القطر ، يختلف القطر d_{vs} بين السلالات (جرسي له d_{vs} قيمتها 2.9 ميكرومتر) . تنخفض d_{vs} مع مرحلة الحلب من 4.3 إلى 2.9 ميكرومتر ، ولكن شكل التوزيع الحجمي يكون ثابتاً . يعني هذا أن توزيعات حجمية مختلفة يمكن أن تتكون لكي تتطابق بواسطة تغيير مقياس الرسم . وبالطبع يمكن أن يتغير التوزيع الحجمي بالمعاملة وخاصة بالتجنيس (باب 8) وقد تم عرض بيانات كمية في الجدول 3.3 .

جدول 3.3 التوزيع الحجمي لكريات الدهن في اللبن والمنتجات اللبنية

Table 3.3 Size Distribution of Fat Globules in Milk and Milk Products

Mean free distance x/d_{vs}	$x(um)$	A $(cm^2/ml\ product)$	C_s	$d_{vs}(um)$	*Fat content (%w/w)*	*Product*
3.7	12.5	750	0.45	3.4	3.8	*Milk,Friesians*
2.7	12.0	770	0.45	4.5	5.2	*Milk,Jerseys*
4.5	2.5	3500	0.85	0.6	3.2	*Homogenized milk*
4.5	1.3	7200	0.85	0.3	3.2	*UHT milk*
1.3	4.5	1900	0.45	3.5	10	*"Half-and-half"*
0.54	0.5	12000	0.95	1	20	*Light cream*
0.16	0.6	6.00	0.5	4	40	*Whipping cream*
1.6	0.6	13000	0.85	0.4	8	*Evaprated milk*
1.1	1.1	5300	0.9	1	8	*Sweetened condensed milk*
1.0	0.6	13000	0.9	0.6	12	*Ice cream mix*
500	600	17	0.5	1.2	0.03[a]	*Separated milk*

ملحوظة : أمثلة تقريبية .

a. كريات الدهن فقط .

Note: Approximate examples.
a. Globular fat only.

2.1.2.3 طبقات سطحية *Surface Layers*

كل جزيء دهن من اللبن محاط بطبقة سطحية أو غشاء . وظائف الطبقة هو منع كرية الدهن من الالتحام ، يكون تركيبها مختلفاً بالكامل عن دهن اللبن أو بلازما اللبن ويشبه تركيب الغشاء الخلوي والذي يشتق منه .

جدول 4.3 متوسط مكونات أغشية دهن اللبن المحسوبة

Table 3.4 Estimated Average Composition of the Membranes of Milk Fat Globules

Percentage of membrane material[a] نسبة مادة الغشاء	mg per m^2 fat surface سطح الدهن مليجرام/متر^2	mg per 100g fat globules كريات الدهن مليجرام/100 جرام	Component المكونات
70	9.0	1800	Protein
25	3.2	650	Phospholipids
3	0.4	80	Cerebrosides
2	0.2	40	Cholesterol
?	+	+	Mono glycerides
-	+	+	Water
0.0	2×10^{-4}	0.04	Carotenoids+vitamin A
0.0	1.5×10^{-3}	0.3	Fe
0.0	5×10^{-5}	0.01	Cu
100	>12.8	>2570	Total

ملاحظة : غير كامل ، مكونات أخرى عديدة نادراً ما توجد .

a. المادة الجافة

Note: Incomplete; several other components occur in trace quantities.
a. Dry matter

يقدم الجدول 4.3 المكون التقريبي لغشـــاء كرية دهن لبن طبيعي ، على الأقل المكونات الأساسية ، الليبيدات الفوسفورية والسيريبروزيدات *cerebrosides* لها تراكيب تشبه لتلك المذكورة في الجداول 7.2 و 8.2 ولها بقايا حامض دهني غير مشـــبعة كثيرة . تركيب بروتينات الغشـــاء معقدة ، هناك عشرة أنواع رئيسية وعدة مركبات أقلية على الأقل . توجد جليكوبروتينات سائدة ، خاصـة بالأغشـية ، وتحتوي على بيتيروفيلين ، والذي يظهر أنه خاص بكريات دهن اللبن ، يحتوي الغشـــاء على مواد عديدة أخرى بكميات ضـئيلة . تكون عديد من بروتينات الغشـــاء إنزيمات ، الفوسـفاتيز القاعدي والزانثين أوكسـيديز لهما أهمية خاصـة ، تكون هذه الإنزيمات جزءاً رئيسـياً من بروتينات الغشاء ويقال أن الغشاء عادة ما يحتوي على جلسريدات ثلاثية ذات درجة انصهار عالية

كثيرة ، ولكن هذه المقولة تعتمد على أساس ضعيف . وقد تم إثبات وجود الجلسريدات الأحادية والأحماض الدهنية الحرة في الغشاء بقوة .

تم نشر تراكيب افتراضية للغشاء في نشرات عديدة . ولكن مثل هذه الصور غير مؤكدة لأن معلوماتنا عن تركيب الغشاء تكون ضعيفة . التركيب الأساسي للغشاء هو طبقة واحدة من الدهن حدث لها ادمصاص من السيتوبلازم وأحيطت بطبقة من البروتين وفوق هذه طبقة مزدوجة من الدهن مرصعة بالبروتينات . تبرز بعض منها داخل بلازما اللبن ومع ذلك تفقد كثير من هذه التراكيب أثناء وبعد إفراز اللبن ويظهر الغشاء تغيرات معتبرة من مكان لآخر، متوسط سمك الطبقة هو 15 نانومتر ولكن يتراوح بين حوالي 10 إلى 20 نانومتر . الكريات عليها شحنة سالبة وتقدر في اللبن حديث الحلب الطازج بحوالي 12 ملي فولت ، التوتر بين السطحي *The interfacial tension* هو 1-1.5 ميلي نيوتين.ميتر-1 ($1-1.5 mN.m^{-1}$) .

تكون المادة التي تتكون من غشاء كرية الدهن كذلك موجودة في اللبن الفرز حيث غالباً ما تبلغ حوالي ثلث الكمية الكلية لمادة الغشاء الموجودة في اللبن (انظر أيضاً الجداول 3.1 و 8.2) . ليست كل هذه المواد تنشأ من كريات الدهن ولكن جزءاً منها ، لأن معاملة اللبن تسبب في فقدان كريات الدهن مادتها الغشائية . يسبب التصاق كريات الدهن (تحت فصل 22.3) نقصاً لمساحة أسطحها ، والتي تؤدي إلى إطلاق مادة الغشاء . تفقد كريات الدهن أيضاً جزء من غشائها إذا لامست الهواء (جزء 32.3) . يؤدي التبريد إلى هجرة مادة الغشاء إلى بلازما اللبن (يكون التغيير عكسياً) ، حوالي 20% من الليبيدات الفوسفورية وكذلك بعض البروتين وزانثين أوكسيديز ، والنحاس ينطلق وبالعكس ، يسبب التبريد ادمصاصاً لبعض البروتينات الأخرى (كريوجلوبيلينات) على سطح كريات الدهن ، ولكن هذه العملية تكون عكسية (تحت فصل 4.2.3) .

يسبب إطلاق جزء من الغشاء من مساحة سطح كرية الدهن ادمصاص المواد نشطة السطح (البروتين غالباً) من البلازما على السطح بين الماء والدهن المعرى . هذا يمكن حدوثه عندما

يدخل الهواء اللبن (جزء 32.3) وفي المقابل فإن زيادة مساحة سطح الدهن ينقص متوسط حجم الكرية ويخلق سطح اتصال غير مغطى ، والذي يكتسب غطاء من بروتينات البلازما . ويحدث هذا على الخصوص أثناء عملية التجنيس (فصل 9) . جدول 4.9 يقارن خواص مختلفة لكريات دهن طبيعية مجنسة ومعاد اتحادها .

3.1.2.3 البلورة *Crystallization*

يختلف تبلور الدهن في كريات الدهن عن ذلك الدهن الموجود في كتل *fat in bulk* (تحت فصل 5.3.2) يجب أن يكون التبريد الشديد أعمق لكي تحدث عملية البلورة ، ولا تستطيع البلورة في كرية الدهن النمو إلى أكبر من قطر الكرية ، يمكن أيضاً أن يكون ترتيب البلورة مختلفاً عن الدهن الموجود في كتلة ، وإذا كانت هناك بلورات كافية في الكرية ، فإنها تستطيع التلبد داخل الشبكة لكي تعطي صلابة معينة للكرية في بعض الحالات ، وخاصة بعد الخض ، تميل البلورات إلى التوضع على السطح بين الماء- والدهن ، وتتوجه خارج المماس ويسبب هذا تكون طبقة لامعة في الضوء المستقطب . وكلما زادت عملية البلورة (بالتبريد) يمكن للبلورات الموجودة خارج المماس أن تنمو وتعطي طبقة صلبة . تبلور الدهن في الكريات له أهمية كبرى في ثباتية تماسها (تحت فصل 2.2.3) لا تستطيع تسمية الكريات المحتوية على بلورات قطرات ولا تقوم بعمليات التحام حقيقي ولكنها تقوم بالتحام جزئي *Partial Coalescence* .

4.1.2.3 الاختلافات بين كريات الدهن *Differences Among fat Globules*

ترجع الاختلافات بين كريات الدهن إلى حجمها خاصة (راجع ما سبق) . تكون الاختلافات في الحجم متعلقة بالتغيرات في التكوين . فمثلاً سوف يكون المحتوى من الليبيدات الفوسفورية لكريات الدهن غالباً متناسباً عكسياً مع d_{vs} ومع ذلك تظهر كريات من نفس الحجم

تغيرات في التكوين أيضـاً ، خاصـة بالنسـبة للمحتوى من الجلسـريدات الثلاثية . هناك اختلافات معتبرة في التكوين بين الكريـات في حلبـة واحـدة لبقرة واحـدة . فمثلاً يمكن أن تختلف درجـة الانصـــهار النهائية للكريات في هذا اللبن بأكثر من $K10$ يمكن أيضـــاً أن يختلف تركيب الغلاف لكريات دهن منفردة ولكن البيانات الكمية غير متوفرة .

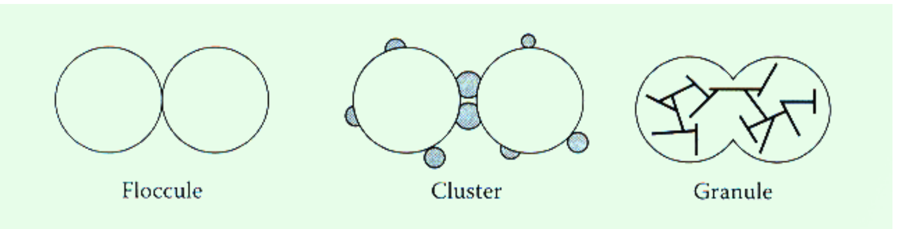
2.2.3 ثبات المستحلب *Emulsion Stability*

يكون المســـتحلب الثابت في حـالات كثيرة مرغوباً فيه ، يجب ألا يتغير المســـتحلب بالحفظ أو أثناء المعاملة . لكن عدم الثبات المعتدل يكون مســـتحباً أثناء بعض المعاملات (مثل خفق القشدة وتجميد الآيس كريم) ؛ وفي بعض الأحيان يجب أن يتكسر المستحلب كما في عملية الخض .

1.2.2.3 أنواع عدم الثبات *Types of instability*

يمكن أن تحدث أنواع مختلفة من عدم الثبات الفيزيائي كما هو موضـــح في شـــكل 1.3 والشـكل تخطيطي ومبسـط ، يمكن أن تحدث التغيرات المختلفة معاً دائماً ما تحدث بعض التغيرات مثل التقشـــيد *creaming* ببطء في الأســـاس ، حدوث عمليتي التلبد *flocculation* والالتحام *coalescence* ويمكن في الحال ، ولكن غالباً ما تكون طاقة التنشـــيط عالية . لدرجة أن هذه العمليات يمكن أن تتأخر أو تُمنع كلياً . توضـح الحســابات المؤســسـة على نظرية ديناميكية التلبد (انظر تحت فصـل 2.3.1.3) أن عدم إعاقة تلبد كريات الدهن المتبوع بالتحامها سـوف يؤدي إلى فصل الدهن في اللبن في خلال دقائق قليلة .

يمكن أن تتجمع كريـات الـدهن بطرق عـديـدة ، تم توضــيح ثلاثـة أنواع من التجمع في شـــكل 11.3 . ولقـد أعطينا هـذه الأنواع أسماءً اعتبـاطيـة (يمكن اســـتخـدام البعض أسماء مختلفة) .



شـكل 11.3 الأنواع المختلفة من تجمعات كريات الدهن ، تشير النقط الرمادية إلى جسيمات الكازين ، تشير الخطوط الثقيلة إلى بلورات الدهن رسم تخطيطي للغاية وليس بمقياس رسم

Figure 3.11 Different types of aggregates of fat globules. Gray dots denote (parts of) casein micelles; heavy lines denote fat crystals. Highly schematic, not to scale

1. في التلبدات ، تكون قوة الجذب بين الكريات ضعيفة والتقليب يعطل التلبد ، والتلبد لا يحدث عادة مع كريات دهن اللبن لأن التنافر الإلكتروستاتيكي يمنع ذلك . لا تتبلد كرات دهن اللبن حتى عند يكون أسها الهيدروجيني متساوي الجهد الكهربي (الأس الهيدروجيني متساوي الجهد الكهربي لكريات دهن اللبن المغسولة *washed* تكون حوالي 7.3 كما هو موضح في شكل 7.3) . تسبب بعض من الجليكوبروتينات في الغشاء قوة طرد كافية . التلزن الذي يشير إلى تلبد فجائي على البارد في اللبن الخام سوف يتم شرحه في جزء 2.4.2.3 .
2. في العناقيد *clusters* تشترك كريتان في جزء من مادة الغشاء عادة في جسيمة الكازين ، أمثلة ذلك ما يسمى مجموعات التجنيس *Homogenization clusters* (جزء 9.7) وكريات الدهن المتجمعة بالحرارة (جزء 4.2.7) ولا تستطيع المجموعات المتجمعة عادة أن تمنع من التجمع بواسطة التقليب .
3. في الحبيبات *In granules* الدهن يلمس الدهن ، يمكن أن يحدث التجمع في حبيبات فقط إذا احتوت كريات الدهن على شبكة من بلورات الدهن ، وتعطي كريات لها صلابة معينة ، والحبيبات عادة لا يمكن إزعاجها *cannot be disrupted* .

2.2.2.3 التحام جزئي ***Partial Coalescence***

عندما تقترب قطرتا مستحلب من بعضهما والغشاء بينهما يتناقص إلى نانومترات قليلة ، فإن هذا الغشاء يمكن أن يتمزق . وفي الحال يمكن للكريات أن تلتحم أو تتحد في قطرة واحدة ، ولكن الكريات عادة لها طبقة سطحية تسبب تنافر كافٍ بين بعضها لكي تمنع تقارباً لصيقاً ، وعندئذ يحدث الالتحام . يمكن أن تحتوي الكريات على بلورات دهن يمكن لبعضها أن يلتصق بطريقة ما خارج الكرية . وإذا حدث ذلك فإن هذه البلورة البارزة يمكن أن تخترق الغشاء بين كريتين متقاربتين ، وتؤدي عادة إلى بداية الالتحام . ولا يمكن لالتحام كامل أن يحدث لأن البلورات في الكريات تمنع ذلك ، وتتكون حبيبة تسمى العملية في هذه الحالة التحاماً جزئياً ، يكون الالتحام الحقيقي نادراً عملياً في المنتجات اللبنية ، ويكون هذا بسبب الثباتية العالية لكريات دهن اللبن وبرغم ذلك فإن الالتحام يمكن أن يحدث في القشدة غير المتجانسة عند درجة حرارة التعقيم . يمكن أن يحدث التحام جزئي بسهولة ، على الأقل إذا تصلب جزء من الدهن وخاصة أثناء التدفق الشديد للمنتج . ويختلف الالتحام الجزئي (تكون الحبيبات والتجمعات) عن الالتحام الحقيقي في تأثيراته ، تتحول في الحالة الأخيرة كريات دهن صغيرة إلى كريات أكبر ، أما في الحالة الأولى فتتحول إلى حبيبات كبيرة ذات شكل غير منتظم (حبيبات زبد) أو حتى شبكة مستمرة كما في القشدة المخفوقة . ويمكن لنا أيضاً أن نتصور حبيبة تتكون من حبيبتين دهن متصلتين معاً بواسطة عنق *neck* دهن سائل بينهما ، سوف تكون البلورات عادة موجودة في هذه الأعناق لا تستطيع وفي بعض الأوقات تمييز كريات الدهن الأصلية .

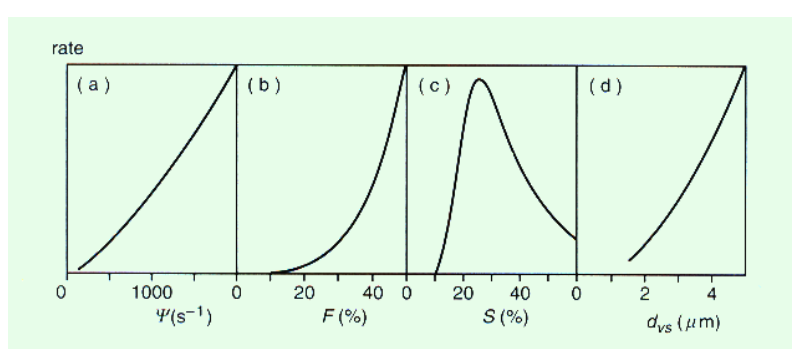
وبزيادة درجة الحرارة تنصهر بلورات الدهن وسوف يسبب ذلك التحام الحبيبات المتكونة وتكوين قطرات كبيرة . وتبعاً لذلك ، يقل السطح بين الماء- والزيت وتنطلق مواد غشاء كريات الدهن (مثل الليبيدات الفوسفورية) داخل البلازما . وأثناء الالتحام الجزئي يحدث أيضاً انسياب لمكونات الغشاء ولو بدرجة أقل .

يستخدم أحياناً المصطلح "دهن حر" أو حتى "دهن غير مغطى" لوصف وجود التحام أو تلبد مرئي أو غير مرئي ، لا يمكن أن يوجد الدهن غير المغطى في اللبن لوجود مواد سطح نشطة بكميات كبيرة في بلازما اللبن . سوف تكتسب كريات الدهن أو حبيبات الدهن هذه المادة عند نقطها المعطوبة ، يمكن التعرف على تكوين الحبيبات الأولية بواسطة فحص زيادة متوسط قطر الحبيبة .

العوامل المؤثرة على معدل الالتحام الجزئي هي كالتالي :

1. التقليب أو أكثر تحديداً منحنى السرعة أو معدل الاحتكاك ***shear rate*** في السائل له تأثير كبير (شكل ***a*** 12.3) هذا مثال للالتحام الجزئي لأن التقليب عادة له تأثير بسيط أو ليس له تأثير على الالتحام إذا كانت الكريات سائلة . منحنى السرعة يزيد معدل تصادم كريات الدهن ، مسبباً الكريات المصطدمة أن تلتف حول بعضها (مسهلة للبلورة البارزة أن تثقب الغشاء بين الكريات) وتستطيع أن تجمعهم بالقرب من بعضهم البعض (وتمكن البلورات التي تبرز من أن تكون أقل بعداً على ثقب الغشاء) .
2. هبوب وضرب الهواء تكون مرة أخرى طريقة من طرق التقليب ، بالإضافة إلى أنها تسرع التكتل بطريقة أخرى (انظر جزء 3.2.3) .
3. المحتوى الدهني له تأثير كبير (شكل 1.2.3) وذلك لأن الالتحام الجزئي يتبع قانون الحركة من المرتبة الثانية (***second-order kinetics***) .
4. نسبة الدهن الصلبة ذات أهمية قصوى (انظر شكل 1.2.3) إذا لم يكن هناك بلورات فالالتحام الجزئي لا يمكن حدوثه إذا احتوت الكريات على دهن صلب بكمية كبيرة (عند حفظها لعدة ساعات عند درجة حرارة أقل من 5 درجات مئوية) ، فإن الدهن السائل المتبقي يحتجز في ثقوب شبكة البلورة . ولا يترك أي عامل لاصق لكي يمسك الكريات معاً .

5. كلما كانت الكريات صغيرة ، كلما كانت أكثر ثباتاً (انظر شكل 12.3) . الكريات الأكبر عندها بلورات أكبر ، ولذلك فإن احتمالية التصاق بلورة بعيداً عن الكريات لكي تثقب الغشاء الموجود بين الكريتين تكون كبيرة . للكريات الأكبر تحتاج لتجمع أقل لكي تكون حبيبات مرئية . تأثير حجم الكرية لابد أن يؤخذ في الاعتبار . فمثلاً القشدة المجنسة لا يمكن خضها ، عادة يكون حجم الكرية السبب الرئيسي للاختلاف في ثبات الالتحام إذا قورنت المستحلبات المختلفة .
6. تكون الطبقات السطحية لكريات الدهن ضرورية أيضاً . ولكن إذا كانت الكريات ذات الحجوم المتشابهة لها ، طبقة سطحية من البروتين ، كما يحدث بعد التجنيس أو إعادة التكوين (فصل 5.9) . تكون الكريات أبعد عن الثبات الكامل ، تقلل إزاحة جزء من طبقة السطح البروتيني بإضافة مادة ناشرة مثل الجليسريدات الأحادية أو مادة التوين *Tween* بصورة ملحوظة الثباتية للالتحام . هذه المواد ناشرات السطوح ***surfactants*** تستخدم عادة في الآيس كريم ، والتي فيها يجب أن تتجمع الكريات أثناء عملية الخفق . *beating process*
7. يمكن أن يكون للتذبذبات الحرارية تأثير كبير فمثلاً ، ينتج الاحتفاظ بالقشدة التي بها 25% دهن أو أكثر عند درجة 5 مئوية لبعض الوقت ، ثم التدفئة لحوالي 30 درجة مئوية لمدة 30 دقيقة ثم التبريد البطيء مرة أخرى ، زيادة سريعة في لزوجتها ويمكن أن تتحول إلى هلام ، يمكن أن تسمى هذه العملية إعادة القوام أو الهيكلية ***rebodying*** . ولكي يحدث ذلك تتم التدفئة لدرجة حرارة تنصهر عندها أغلب البلورات وليس كلها . تحدث إعادة الهيكلية بواسطة التحام جزئي . وتحدث فقط بدون تقليب إذا كان محتوى الدهن عالياً لدرجة أن كريات الدهن تكون قريبة جداً من بعضها ، ويمكن أن تحدث أيضاً في طبقة القشدة المتكونة في اللبن غير المجنس عالي البسترة .



شـــكل 12.3 معدل الالتحام الجزئي للقشـــدة المعرضـــة للخض كدالة على : (a) معدل السـرعة أو معدل الاحتكاك Ψ ، (b) محتوى الدهن F ، (c) كسر الدهن الصلب s ، و (d) متوسط حجم الكرية d_{vs} ، نتائج تقريبية توضح الاتجاه

Figure 3.12 Rate of partial coalescence (or churning) of cream subjected to laminar flow as a function of (a) velocity gradient or shear rate *P;* (b) fat content *F.* (c) fraction of the fat that is solid S, and (d) average globule size dvs' Approximate results showing trends

3.2.2.3 التمزيق *Disruption*

التمزيق ، أي تكســـير كريات الدهن إلى كريات أصـــغر ولا يحدث ذلك فجائياً . الخفق في الهواء ، اضـــطراب شـــديد *intense turbulence* كما في مجنس عالي الضـــغط أو منحنى سـرعة عالٍ جداً (S ، بالثانية$^{-1}$) جميعها يمكن أن تسـبب تمزيقاً . ولكي يحدث ذلك يجب أن يزيد ضـــغط الاحتكاك (ηs حيث لزوجة البلازما $\eta \sim s.P_a ml$) المبذول على كرية ذات قطر d عن المقاومة للتشـوه الذي سـببه ضـغط لابلاس *Laplace pressure* ($4\gamma / d$ حيث يكون التوتر السـطحي γ بين كرية الدهن والبلازما حوالي $m^{-1}.Nm1.5$ لكريات دهن اللبن الطبيعي) . وبمعنى آخر أنه كلما كانت الكريات أصـــغر كلما كان من الصـــعب جداً حدوث التمزيق . وعلى ذلك لكي نمزق كريات دهن طبيعية ، S (منحنى السـرعة) يجب أن تكون عالية للغاية أي $S^{-1}10^6$ حتى التقليب الشـديد للبن سـوف لا يمزق كريات الدهن ولكن الخفق الشـديد القوي في الهواء سـوف يفعل ذلك .

3.2.3 التداخلات مع فقاعات الهواء ***Interaction with Air Bubbles***

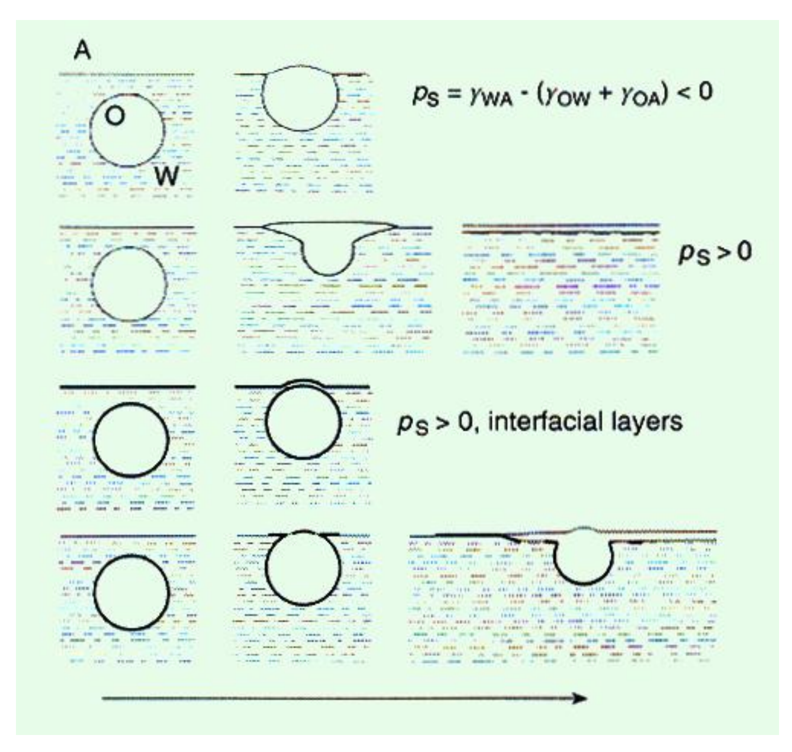
يكوّن اللبن الفرز رغوة ، خاصـة عند درجات حرارة منخفضـة ، تكون الرغوة أكثر ثباتاً عند درجات حرارة أعلى أي حوالي 40 درجة مئوية . تثبت البروتينات وخصـوصـاً الكازين رقائق الرغوة . يثبط دهن اللبن تكون الرغوة . فمثلاً إضـافة 1% لبن كامل الدسـم يقلل القابلية لتكون الرغوة للبن المفصـول إلى أقل من النصـف . ومن الواضـح أن كريات دهن اللبن تؤثر على رقائق الرغوة .

يوضح شكل 13.3 ماذا يحدث عندما تقترب قطرة مستحلب من السطح البيني للهواء- الماء . تعتمد الخاصية على قيمة الضغط المسبب للانتشار ووجود طبقات مدمصة على السطوح البنية المختلفة ، كما هو موضح في الشكل .

عندما تتلامس كرية دهن لبن مع السـطح البني ماء- هواء حديث التكوين ، فإن مادة غشاء القطرة ومن بعدها جزء من محتوياتها سوف تنتشر فوق السطح البيني . وهذا يحدث طالما لا توجد مواد نشطة السطح أخرى ، وخاصة البروتينات ، قد ادمُصت على السطح البيني ، يكون معدل الانتشـار حوالي 0.1-1 مليمتر/ثانية ، بينما يأخذ ادمصـاص مواد النشـاط السـطحي من البلازما على السـطوح البينية الماء- الهواء حوالي 0.01-0.1 ثانية ، ولذلك فإن انتشـار قيمة قطره 10 ميكرومتر سوف يكون ممكناً . ومن الواضح أن الكريات يمكن أن تصبح معلقة بالسطح بين الماء- الهواء ، وعلى ذلك تكون معلقة بفقاعة هواء . في هذه الطريقة جمع الكريات في رغوة يمكن حدوثه ، يمكن أن تسمى هذه العملية تعويم *flotation* .

يمكن لكرية دهن أن تصـنع اتصـالاً مع فقاعة هواء لها طبقة ادمصـاص أو أنها تسـتطيع أن تكون محصـورة بين فقاعتي هواء أي في رقائق رغوية . في هذه الأحوال تنافر إلكتروسـتاتيكي أو *steric* بين الكرية وطبقة السـطح بين الماء-هواء عادة ما تمنع الكريات من عمل اتصـال مع الهواء في الفقاعة . وبمعنى آخر لا تسـتطيع الكرية أن تثقب طبقة السـطح ومع ذلك فإنه من الممكن أن تثقب الكريات المحتوية على بلورات دهن هذه الطبقة وتصـنع اتصـالاً مع الهواء (انظر أيضـاً جزء 31.1.3) مسببة انتشار مادة الغشاء والدهن فوق السطح البيني . وعادة ما يسبب الانتشار شرخاً

لرقائق الرغوة . تظهر كريات دهن صغيرة وكذلك كريات سائل كاملة قابلية منخفضة لتكوين رغوة غير ثابتة لأن هذه الكريات تثقب طبقة ادمصاص فقاعة الهواء بصورة أقل .



شكل 13.3 التداخل بين قطرات الزيت (O) والسطح بين الماء والهواء (AW) كدالة لضغط الانتشار (P_s ;γ = التوتر السـطحي) ووجود ادمصـاص للطبقات البين سـطحية (الخطوط الثقيلة) يشـير الصـف القاعي إلى كريات دهن اللبن المحتوية على سـطح بين البلازما والهواء المتكون حديثاً ، الرسـم توضـيحي ولا يتبع مقياس رسـم معين عن

Figure 3.13 Interactions between an oil droplet (0) and the air-water (AW) interface, as a function of the spreading pressure *(Ps;* γ = interfacial tension) and of the presence of interfacial adsorption layers (heavy lines). The bottom row refers to a milk fat globule contacting a newly formed air-plasma interface. Schematic, not to scale. (After H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule,* Pudoc, Wageningen, 1974.)

تسبب عملية الخفق السريع للهواء في اللبن أو القشدة (كما في عملية الخض أو الخفق أو الضرب *Whipping*) تكون سطح بيني ماء- هواء جديد مستمر ، ويمكن انتشار الدهن فوق السطح البيني . إذا كان الدهن سائلاً بالكامل ، ويسبب التكسير المتتابع للفقاعات الهوائية المغطاة بالدهن تمزيقاً للدهن . ولذلك فخض لبن دافئ أو قشدة يعطي كريات دهن صغيرة الحجم . وإذا كانت الكريات أيضاً تحتوي على دهن صلب ، فإنها تصبح متصلة بالفقاعات الهوائية . وكلما قلت مساحة سطح الهواء (بسبب التحام فقاعات الهواء) فإن كريات الدهن المعلقة تساق لكي تصبح أكثر قرباً من بعضها البعض . ويسبب الدهن السائل المنتشر فوق سطح فقاعة الهواء في الحال تحول الكريات إلى حبيبات دهن . (انظر أيضاً شكل 18.4) . بالإضافة إلى ذلك يصنع الدهن السائل رغوة أقل ثباتاً ، وبمعنى آخر تكون فترة عمر الفقاعة الهوائية قصيرة ، يعطي تجمع آخر للحبيبات حبيبات قشدة وفيها يحدث انقلاب حالة واضح ، أي يكون الزيت هو الحالة المستمرة *Continuous phase* ولكن الحبيبات مازالت تحتوي على كريات دهن وقطرات ماء (رطوبة) *Moisture droplets* . يزيل التركيز الرطوبة الزائدة ويقلل حجم قطرات الماء ، نحصل بهذه الطريقة على القشدة (تحت فصل 2.18) .

إذا وجدت كمية صغيرة جداً من الدهن السائل أثناء خفق الهواء ، وإذا كان محتوى الدهن عالياً ، تتكون تراكيب من تكتلات دهنية *fat clumps* ولكن الخض *churning* لا يحدث . تحصر هذه التراكيب الفقاعات الهوائية بداخلها ، وبذلك تتكون القشدة المخفوقة ، لا تحدث عمليات تصنيعية مشابهة أثناء تجميد وضرب *whipping* الآيس كريم .

4.2.3 التقشيد *Creaming*

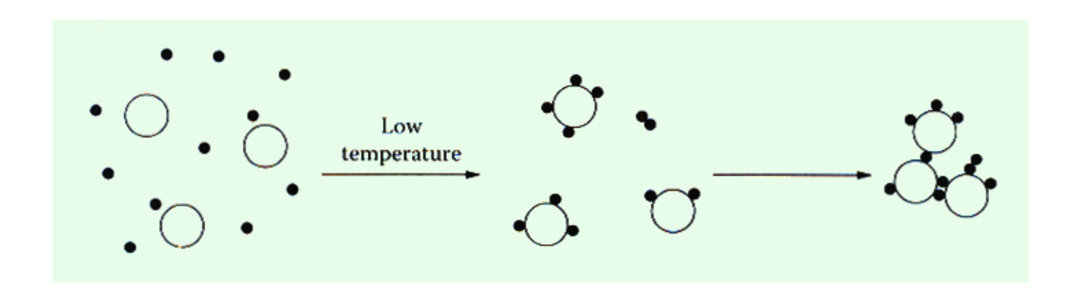
تميل الكريات إلى الصعود أو الارتفاع بسبب الفروق في الكثافة بين بلازما اللبن وكريات الدهن . هذه الخاصية لها أهمية كبيرة لأنها تسبب التقشيد أثناء الحفظ ، وتمكن اللبن من أن ينفصل إلى قشدة ولبن فرز ، يكون التقشيد أكثر سرعة إذا تجمعت كريات الدهن في ندف *Floccules* أو عناقيد *Clusters* .

1.4.2.3 اللبن عالي البسترة **High-Pasteurized Milk**

يمكن أن يحدث في هذا اللبن تقشـــيد كريات دهن منفرد ، تحســـب الســـرعة V لكرية صاعدة من معادلة ستوكيس *Stokes's equation* :

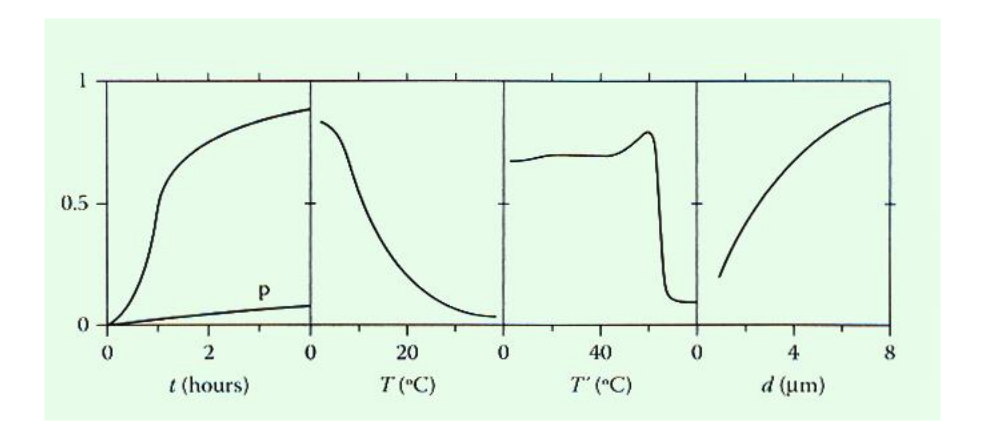
$$V_s = -a(P_p - P_f)\,d^2/18\eta_p \qquad (3.16)$$

حيث P_p هي كثافة البلازما ، P_f هي كثافة كريات الدهن ، η_p هي لزوجة البلازما (وليس لزوجة اللبن) ، a هو التســريع *Acceleration* أي g إذا كان التقشــيد نتيجة الجاذبية لكي يطبق قانون ســـتوكيس يجب توافر عدة شــروط ، ولكن المعادلة تكون مفيدة للغاية لكي نتنبأ بالاتجاه . عملياً حجم الكرة ودرجة الحرارة يحددان مدى التقشــيد في اللبن عالي البســترة . في التقريب الأول معدل التقشيد يتناسب مع مقياس التقشيد H (الجدول 2.3) . H تختلف بين حصص اللبن ولكن عمليات اللبن وخاصــة التجانس هو المتغير الأســاســي . البيانات الخاصــة بمقياس التقشــيد H تم ســـردها في جداول 1.9 و 3.9 درجة الحرارة تؤثر على العامل $(P_f - P_p)/n_p$ (الملحق : جدول 10.A ، شكل B 2.8) .



شكل 14.3 ادمصاص الأجلويتنين (النقط السوداء) على كريات دهن اللبن وتلبدات الكريات الناشئة . أشكال تخطيطية

Figure 3.14 Adsorption of agglutinin (black dots, greatly exaggerated in size) onto milk fat globules and the ensuig flocculation of the globules. Highly schematic



شكل 15.3 التقشيد بالجاذبية (بالترقيد) في اللبن الخام . تأثير وقت التقشيد (*t*) ، درجة حرارة التقشيد (*T*) ، درجة حرارة قبل المعاملة *T* أثناء 30 دقيقة وحجم الكرية (*d*) في جزء الدهن المقشـــود (*Q*) ، *P* = اللبن عالي البســـترة أمثلة تقريبية عن

Figure 3.15 Gravity creaming in raw milk. Effect of creaming time *(t)*, creaming temperature (*T*), temperature of pretreatment (*T*, during 30 min), and globule size (d) on fat fraction creamed (*Q*). p = high-pasteurized milk. Approximate examples. (From P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984. With permission)

تتكون عناقيد قشـــدة كريات الدهن أســـرع من الكريات المنفردة . يمكن أن تســـبب عملية تكوين العناقيد بواسـطة التجنيس (جزء 7.9) أو بواسـطة التسـخين الشـديد (التعقيم *Sterilization*) . يمكن أن تحدث عملية تكون العناقيد في اللبن المبخر حيث تسبب تقشيداً غير مرغوب .

2.4.2.3 اللبن الخام ***Raw Milk***

يحدد التقشيد على البارد دائماً بواسطة عملية تلبد للكريات بواسطة التلزن أي معقد من جلوبيولينات الصـــقيع والليبوبروتينات ، انظر أيضـــاً شـــكل 14.3 في التلزن البارد ، يمكن أن ترى الأحداث التالية (تحت فصل 3.4.3) ربما تكون الخطوات الحقيقية لعملية التقشيد أكثر تعقيداً .

1. في البارد ، تترسب جلوبيولينات الصقيع على كل أنواع الجزئيات ، خاصة كريات الدهن (عند معدل حوالي 10^{-3} مرات تلك التي تم التنبؤ بها بواسطة نظرية التلبد السريع .
2. تتجمع ما يسمى كريات الدهن "المغطاة" داخل ندف كبيرة .
3. ترتفع الندف الكبيرة بسرعة .
4. تتخطى ندف كبيرة ندفاً أصـــغر وكريات الدهن المفردة ، وبذلك تســـرع عملية التلبد مازال الارتفاع ســـريعاً . تتكون بهذه الطريقة طبقة القشـــدة بســـرعة ، حتى في الأوعية العميقة أو خزانات اللبن الكبيرة .

المتغيرات الرئيســية المؤثرة على عملية التقشــيد الطبيعية في اللبن الخام (شــكل 15.3) هي كالتالي :

1. الحرارة : لا يحدث تكوين طبقة القشـــدة عند درجة 37 مئوية ، وكلما كان اللبن أبرد ، كلما تكونت طبقة القشدة بسرعة .
2. يختلف تركيز الأجلوتنين بين الأبقار وفي مرحة الإدرار حيث يكون اللبأ عالياً ، ونادراً ما يوجد في آخر مراحل إدرار اللبن .
3. حجم كرية الدهن : جزئياً لأن الكريات الأصغر عندها مساحة سطح أكبر نسبياً ، وبالتالي تحتاج أجلوتنين أكثر .
4. محتوى الدهن ، كلما ارتفع المحتوى الدهني كلما كان التقشـــيد أســـرع ، لأن تكوين الندف *floccules* يكون أسرع .
5. يوقف رج اللبن لفترة عند درجة حرارة منخفضة بشدة عملية تكوين القشدة . توضيح ممكن هو أن تجمعات الأجلوتنين قد تتكون مسببة انخفاضاً في عدد الجزيئات النشطة .
6. يكبح تســـخين مثل هذا اللبن القدرة على التلبد لأن التســـخين يفكك الأجلوتنين من التجمعات الدهنية .

7. يمكن أن تثبط المعاملة الحرارية للبن التلزن . التأثير يعادل عدم ذوبان (بواسطة الدنترة) الجلوبيلينات المناعية . التسخين لمدة 20 ثانية عند درجة حرارة 71 مئوية ليس له تأثير ، تسبب درجة حرارة قدرها 73 مئوية انخفاضاً في تكوين القشدة بنسبة 25% و 78 درجة مئوية تؤدي إلى عدم تنشيط كامل (شكل 31.2) .
8. يثبط التجنيس الأجلوتينين ، كذلك إذا حدث بدون وجود كريات الدهن والسبب في ذلك غير معروف .

3.4.2.3 القشدة ولبن الفرز ***Cream and Skim Milk***

يؤدي التلزن البارد *Cold agglutination* اللبن الخام أو منخفض البسترة إلى طبقة قشدة عميقة من ندف مرصوصة رصاً خفيفاً ، تحتوي على كمية كبيرة من البلازما . تحتوي الطبقة على 20% إلى 25% دهن ، يمكن أن تعيد القشدة انتشارها في كل مكان من اللبن . وتحتوي على كثير من البكتيريا من اللبن . سوف يكون من الصعب في القشدة منخفضة البسترة التي تحتوي على 20% دهن أو أكثر حدوث التقشيد ، تتجمع الكريات داخل ندفة كبيرة *Large floccule* والتي تملأ الحجم كله . ومع ذلك تميل الجاذبية إلى ضم هذا النظام الندفي *Flocculated system* ويمكن أن تتكون طبقة رقيقة من البلازما عند القاع تزداد ببطء في الارتفاع .

تتكون أشكال طبقات قشدة مختلفة في اللبن المسخن لدرجة عالية ، وتكون هذه طبقة رقيقة عالية المحتوى من الدهن (40% إلى 50%) ولكن التعبئة المحتملة للكريات (حوالي 70% دهن) لا يتم الوصول إليها . عندما يبدأ الدهن في البلورة في طبقة القشدة ، هذا يمكن أن يشجع التحاماً جزئياً لكريات الدهن ، وكذلك يفعّل تقليب الطبقة . وبالتالي يكون من المستحيل أن تعيد انتشار القشدة في كل مكان من اللبن . بواسطة فعل الطرد المركزي . ويمكن الحصول على القشدة ذات المحتوى الأعلى من الدهن أي 80% دهن أو أكثر (القشدة البلاستيكية *Plastic cream*) لدرجة أن الكريات تكون مشوهة (شكل 10.3) .

إن لبن الفرز الناتج عن التقشـيد الطبيعي نادراً ما يكون محتواه الدهني أقل من 0.5% (أي محتوى أقل من 0.1% . ويمكن الحصـول عليه تحت ظروف مثالية) اللبن مازال يحتوي على كريات كبيرة إلى حد ما . وتؤدي عملية فصل اللبن بالطرد المركزي إلى الحصول على لبن محتواه أقل من الـدهن ، مكونـاً من كريـات دهن صـغيرة الحجم وحوالي 0.025% دهن غير كروي *Nonglobular fat* ، يتكون أغلب الأجلوتنين في القشـدة إذا تم فصـل اللبن الخام أو المنخفض البسـترة بارداً أي في درجة 5 مئوية . وهذا سـوف يسـبب تلزناً كبيراً في القشـدة . يكون أغلب الأجلوتنين في اللبن الفرز إذا تم فصـل اللبن عندما يكون دافئاً أي أعلى من درجة 35 مئوية . وبالتالي يظهر بصعوبة مخلوط من لبن فرز مفصول على البارد وقشدة تم الحصول عليها بالفصل الدافئ أي تلزن بارد *Cold agglutination* .

5.2.3 تحلل الدهن *Lipolysis*

يؤدي تحلل الدهن في اللبن (أي التحلل المائي الإنزيمي للجلسـريدات الثلاثية) إلى تكون أحماض دهنية حرة ، ويمكن أن يعطي هذا اللبن نكهة صابونية زنخة *Soapy-rancid tast* . يمكن أن تكون إنزيمات عديدة مسئولة عن تحلل الدهن ، ولكن هنا سـوف نذكر الإنزيمات الرئيسـية في اللبن المحللة للدهن ، أي إنزيم ليباز الليبوبروتين *Lipoprotein lipase* (جزء 4.2.5.2) في الدم يحرر هذا الإنزيم الأحماض الدهنية من الليبوبروتين والكيلوميكرونات *Chylomicrons* والعامل المساعد في هذه الحالة مادة بروتينية *Apoprotein* مصنعة من ليبوبروتينات معينة ، تكون ضرورية للإنزيم لكي يعمل عند السطح البيني ماء- زيت . درجة الحرارة المثلى للإنزيم هي حوالي 33 درجة مئوية ، والأس الهيدروجيني الأمثل حوالي 8.5 ، اللبن يحتوي على 10-20 نانومول من هذا الإنزيم لكل لتر ، تكون تحت الظروف المثلى K_{cat} أكبر من $3000 S^{-1}$ وسـوف تكفي لجعل اللبن ذي رائحة زنخة في 10 ثواني ، ولكن ذلك لا يحدث أبداً .

هناك عوامل عديدة تقلل أو تزيد عملية تحلل الدهن في اللبن . يكون الوضع بالنسبة لتحلل الدهن معقداً للغاية ويمكن أن يكون كالتالي :

1. تكون القوة الأيونية ، المكون الأيوني ، والأس الهيدروجيني للبن شبه مثلى .
2. يكون الإنزيم مرتبطاً بقوة مع جسيمات الكازين ، ويقلل هذا من نشاطه بصورة كبيرة . سوف تسبب العوامل a و b نقصاً K_{cat} في اللبن إلى حوالي $100S^{-1}$ والتي يمكن أن تسبب تزنخاً اللبن في 5 دقائق . يمكن في حالات استثنائية أن يحدث هذا في الحقيقة (انظر النص التالي) .
3. مع ليبوبروتينات معينة من الدم (لا تكون الأبوبروتينات بمفردها كافية) ، يمكن لليباز أن يحدث له ادمصاص على الدهن . ويسبب إضافة مصل الدم إلى اللبن يحدث تحللاً دهنياً سريعاً .
4. يحتوي اللبن على مثبط إنزيمي واحد أو أكثر (بجانب جسيمات الكازين) والتي ربما تبطل استجابة الليبوبروتينات . من المحتمل أن يكون مكون 3 بروتيوز- بيبتون *Proteose- peptone component*-3 هو المثبط الأكثر أهمية .
5. وجود مكون تثبيطي ، بالرغم من أنه ليس بسبب الأحماض الدهنية الحرة المتكونة . من المحتمل أن الجليسريدات الأحادية المشبعة طويلة السلسلة إذا تكونت بتركيز عالٍ ، فإنها تعمل كمثبط . لأن هذه الجزيئات لا تستطيع الانتشار أو انتشارها بطيء من كرية دهن إلى أخرى ، يمكن أن يكون المكون التثبيطي حدثاً محلياً .
6. تؤثر الحرارة على تجزئة نشاط الإنزيم (إنزيم ، مثبط أو مسرع) بين الأجزاء . يكون معظم نشاط الإنزيم عند درجة حرارة منخفضة متعلقاً بالكريات الدهنية . وهذا يمكن أن يشرح لماذا تكون درجة الحرارة المثلى لتحلل الدهن في اللبن الخام عادة هي حوالي 15 درجة مئوية .
7. يُثَبط الإنزيم ببطء في اللبن الخام .

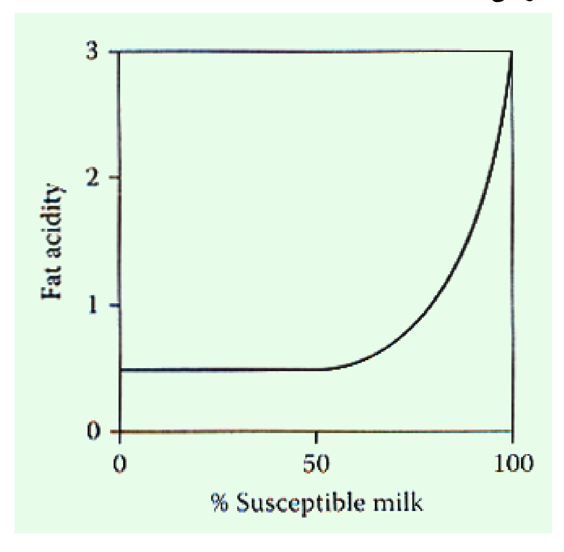
أغلب اللبن الخام نادراً ما يحدث له عملية تزنخ بالحفظ ، ولكن لبن بعض الأبقار يحدث له تزنخ ، وبدلاً من ذلك يحدث عادة زيادة في حامضية الدهن عندما تكون إنتاجية

اللبن منخفضـة (أقل من 3 كيلوجرام لكل حلبة) أي في نهاية الإدرار . كما تم توضيحه في شـكل 9.1 *c* ، يسـبب هذا تغيرات موسمية في درجة تحلل الدهن . تؤدي زيادة عدد مرات الحلب أيضـاً إلى زيادة تحلل الدهن ، تزيد كل هذه الظروف تسـرب *leakage* الليبوبروتينات من الدم إلى داخل اللبن ، تكون بعض الألبان لأبقار منفردة ، حسـاسـة بدرجة عالية للتحلل الدهني مؤدية إلى تحلل دهني في الحال *Spontaneons lipolysis* ولكن إضـافة لبن عادي إلى لبن حسـاس يبطئ عملية التحلل بصـورة ملحوظة (شـكل 16.3) ، وعلى ذلك إذا عومل اللبن الخليط بطريقة صـحيحة ، فنادراً ما تحدث له عملية تزنخ ، يمكن إحداث تحلل الدهن في الحال في اللبن . إزالة الغشـاء الطبيعي عن كريات الدهن بالضرب الشديد للهواء (جزء 3.2.3) أو زيادة السطح البيني للبلازما – يؤدي الدهن بواسـطة التجنيس ، إلى طبقة سـطحية كرية من بروتينات البلازما (جزء 5.9) ، الذي يسـبب توتراً بين سـطحي يصـل إلى $15\ mN.m^{-1}$ ونتيجة لذلك يسـتطيع إنزيم الليباز ليبوبروتين من اختراق الغشاء . ولذلك فإن تجنيس اللبن الخام يسبب تحللاً سريعاً جداً للدهن .

ويمكن أن يحدث تحلل الدهن أيضاً بتبريد اللبن الخام إلى درجة حرارة 5 مئوية ، وتسـخينه إلى درجة حرارة 30 مئوية ثم تبريده مرة أخرى ، بالرغم من أن هناك اختلافات واسـعة بين عينات اللبن ، والسـبب في ذلك غير مؤكد . ويمكن أن يمنع تثبيط الإنزيم بواسـطة التسـخين (أشـكال 25.2 ، 2.14 ، 1.22) تحلل الدهن .

3.3 جسيمات الكازين *Casein Micelles*

إن لحقيقة عدم وجود كازين اللبن على هيئة محلول ووجوده على هيئة جسـيمات ، لها تأثيراً هاماً على خواص اللبن . وتحدد جسـيمات الكازين إلى حد بعيد الثبات الفيزيائي لمنتجات اللبن أثناء معاملتها الحرارية ، وتركيزها والاحتفاظ بها ، ويكون سلوكها ضرورياً في المراحل الأولى من عمل الجبن ، تحدد الجسـيمات إلى حد كبير الخواص الريولوجية *Rheological properties* للمنتجات اللبنية المركزة والحامضـية . يكون تفاعل جسـيمات الكازين مع السـطح البيني للماء– الزيت هاماً بخصوص خواص المنتجات اللبنية المجنسة .



شـــكـل 16.3 حموضـــة دهن اللبن (بـالميلي مول/100 جرام) للبن الحســـاس لتحلـل الـدهن ، للبن العـادي ، ومخلوط منهما . اللبن حفظ لمدة 24 ساعة عند درجة 4 درجات مئوية

Figure 3.16 Acidity of milk fat (as mmol/100 g) of milk 'susceptible' to lipolysis, unpublished results of A. Jellema)

1.3.3 الوصف *Description*

يكون كـل الكـازين الموجود في اللبن الطـازج موجوداً في جســيمـات كرويـة ، غـالبـاً قطرهـا من 40-300 نـانومتر . تحتوي الجســيمـات على حوالي 10^4 جزيء من الكـازين . تحتوي هـذه الجســيمـات أيضـــاً على مواد غير عضـــوية أغلبهـا فوســـفـات الكـالســـيوم ، حوالي 8 جرام/100 جرام كـازين (جـدول 3.2) . تحتوي جســيمـات الكـازين أيضـــاً على كميـات صـــغيرة من بعض البروتينـات الأخرى ، مثـل بعض الإنزيمـات وجزء من الببتون- بروتيوز ، تمســـك الجســيمـات كبيرة الحجم مـاءاً كثيراً عن المـادة الجـافـة ، ومشحونة بشحنة سالبة .

1.1.3.3 التركيب *Structure*

عندما يكون الكازين في سـائل مقارنة بمصـل اللبن ، ولكن عند نشـاط منخفض لأيونات الكالسـيوم تتكون أشـكال صـغيرة وغير كاملة الاسـتدارة ولها قطر قدره حوالي 12-15 نانومتر يحتوي وكل منها على 20-25 جزيء كازين . في هذه الأشـكال المسـماة بالتحت جسـيمات تحافظ الروابط الكارهة للماء والقناطر الملحية (التداخلات الموجبة – السـالبة) على ترابط الجزيئات معاً . وعلى افتراض أن أغلب أجزاء الجزيئات الكارهة للماء تكون مدفونة في لب التحت جسيمات ، بينما تكون مجموعات مشحونة كثيرة في الطبقة الخارجية الأقل كرهاً للماء .

تحتوي كل تحت جسـيمة جزيئات كازين مختلفة ، ولكن كل التحت جسـيمات ليس لها نفس التركيب . أسـاسـاً هناك نوعان أسـاسـيان من التحت جسـيمات بالكابا كازين أو بدونه (أو بكمية ضـئيلة منه) وليس هذا مفاجئاً . نفترض أن (a) التحت جسـيمات التي تحتوي على 25جزيء بروتين ، (b) النسبة المولارية ، تكون $1.6 : 4 : 1 : 4 = K : (\gamma + \beta) : \alpha_{52} : \alpha_{s1}$ و $K(C)$– كازين الموجود في اللبن كمتبلمر متعدد *Polymer* يتكون من 6 جزيئات على الأقل ترتبط بروابط كبريتية $-S-S-$ ، على افتراض أن الجزء الكاره للماء للنهاية -C للكازين والذي ربما يحتوي على بقايا سكر ، قد انفصل عن سطح التحت جسيم .

تؤدي إضافة زيادة من الكالسيوم والفوسفات ، كما يحدث في الخلايا المفرزة اللبنية ، إلى تجمع التحت جسـيمات لتكون وحدات أكبر ، أي جسـيمات الكازين ، ولعل السـبب في هذا التجمع هو أن ترسـيب الكالسـيوم فوسـفات في التحت جسـيمات ، يقلل شـحنتهما الكهربية ويجعلهما أكثر تماسكاً . وبالتالي سوف تجذب التحت جسيمات بعضها البعض وأن يكن ضعيفاً مسبباً تجمعها ، تحت جسيمان يقتربان من بعضهما بطريقة ما ، بحيث أن الشعيرات البارزة للـ -Kكازين لواحدة منهما على الأقل تكون بينهما ، بهذه الطريقة سوف لا تكون قادرة على ربط كل منهما .

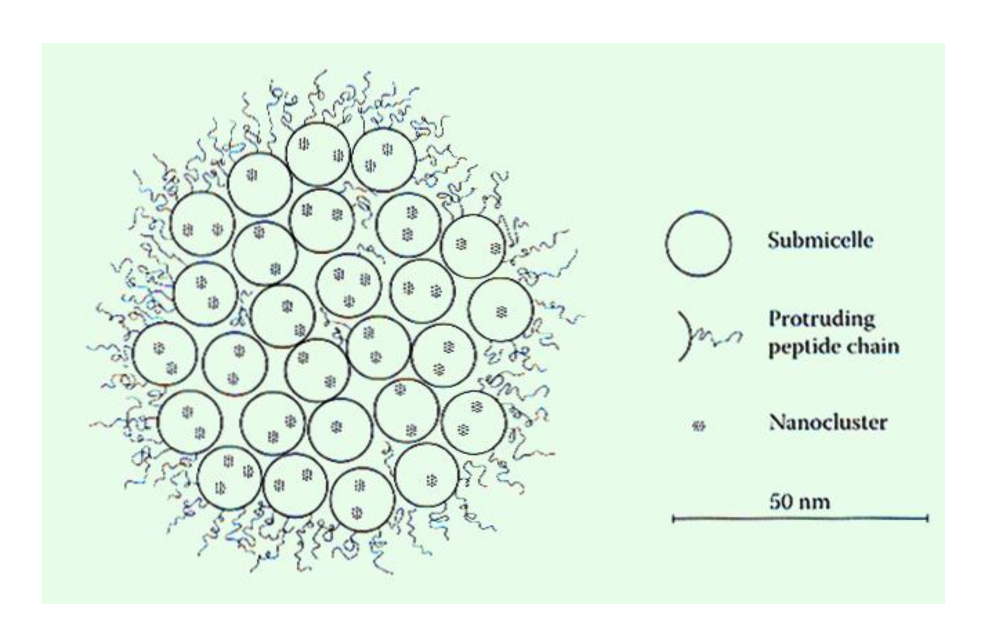
وليكن مفهوماً ضـمناً أن تجمع تحت جسـيمات الكازين يتقدم حتى يتكون تجمع دائري نوعاً ما ، ويغطي سـطح هذا الجسـيم بطبقة من شـعيرات الـــ *K*-كازين المسـتمرة إلى حد ما . إذا اقتربت تحت جسـيمات أخرى (أو تجمعاتها) فإنها لا تسـتطيع أن ترتبط بالجسـيمات المتكونة ، السمك الهيدروديناميكي للطبقة الشعرية هي حوالي 7 نانومتر .

يمكن لنا أن نقلد تخليق جسـيمات الكازين في المعمل بإذابة الكازين في مصـل لبن مقلد والإضـافة البطيئة عند أس هيدروجيني ثابت– للكالسـيوم ، ماغنسـيوم ، فوسـفات ، وسـترات بالنسـب الصـحيحة ونتيجة ذلك الجسيمات المتكونة يكون لها كل خواص الجسـيمات الطبيعية ، ويمكن أن تختلف خواص الجسيمات الصناعية بتغير مكوناتها .

يصـور الشـكل 17.3 نموذجاً لجسـيمات الكازين مشـتقة من المبررات السـابقة ، الجسـيمات هي تجمعات كثيفة لتحت الجسـيمات ، تحتوي الأخيرة مناطق صـغيرة (تسـمى عادة عناقيد متناهية الصـغر ***Nanoclusters***) تحيط بها فوسـفات الكالسـيوم وبقايا فوسـفات السـيرن للكازين .

أجزاء كبيرة من سلاسل ببتيدية للكازين في تحت جسيمات مفككة لها حرية حركة عظيمة ، عندما تكون فوسفات الكالسيوم موجودة كما يحدث في الجسيم كله ، فإن مرونة السلاسل الببتيدية تفقد تماماً ، ماعدا الجزء العلوي للطرف *C*- للـــ *K*-كازين (من المتبقي حوالي 90) تنفصل أغلب هذه الأجزاء عن الجسيم بداخل المحلول كشعيرات مرنة والتي تكون ضرورية في إعطاء الثباتية للجسيمات (انظر تحت فصل 1.1.10) تم توضيح معلومات إضافية عن فوسفات الكالسيوم الغروية (***CCP***) أي فوسفات الكالسيوم المحتواة في الجسيمات ، في الجزء 3.2.2 . لا يجب تخيل التحت جسيمات كجزيئات كروية ثابتة ، ولكن سـوف يكون شـكلها على هيئة زغب غير منتظم . ومن المحتمل أن يوجد أيضاً اتصال بروتين– بروتين بين التحت جسيمات . تكون الجسيمات كبيرة الحجم إلى حد ما ، ولكن النتائج المعملية تختلف عن حجمها بشكل واسع . على افتراض أن النتائج المعنية تقدر حجم الجسـيمات بدون الطبقة الشـعرية بحوالي 2-2.5 مليلتر/جرام كازين جاف ، سـوف يشـغل

الكـازين الجـاف حـوالي 0.7 مليلتر/جرام وبـاقي الحجـم يشـــغله المـاء ، جزء في وجزء بين التحـت جسـيمات . وعند أخذ الطبقة الخارجية الشـعرية في الاعتبار ، فإن حجـم الجسـيمة يكـون حـوالي 4 مليلتر/جرام من الكـازين . ولـذلك الحجـم الكلي لجزيئـات الكـازين في اللبن هو 0.1 . تســـتطيع جزيئات المذاب الصغيرة اختراق الجسيمات ، ولكن الكبير منها مثل بروتينات المصل لا تستطيع أو يمكن أن تفعل ذلك بصعوبة . ومن الواضح أن السائل في الجسيمات ليس ماء فقط (ولكنه) سائل مماثل لمصل اللبن .

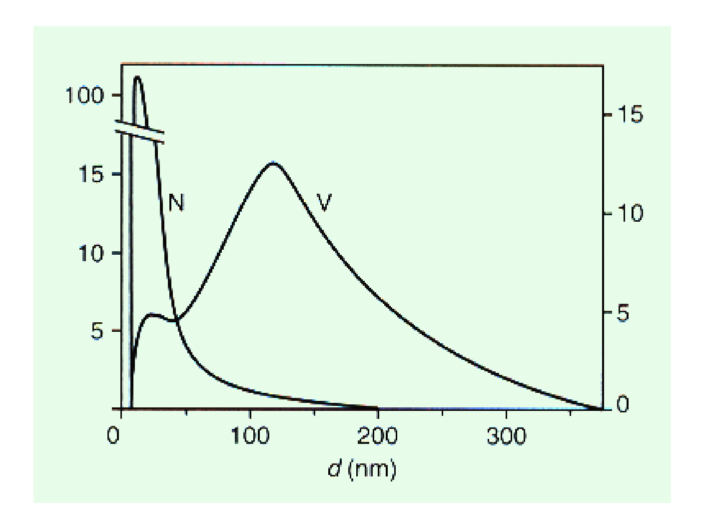


شـكل 17.3 نموذج تخطيطي لقطاع عرضـي خلال جسـيمات الكازين عن *D.G.Schmidt and T.A.J. Payens,* *surface and Colloid Science g* (1976) 165;*W.Slattery, Biophys. Chen.* 6 (1977) 5q; *P.Walstra, J.Dairy Res.* 46 (1979) 317.

Figure 3.17 Cross section through a tentative model of a casein micelle

2.1.3.3 الاختلاف *Variability*

الجسـيمات لا تكون كلها مشـابهة ولكنها تظهر توزيعاً حجمياً واضـحاً وقد تم توضـيح مثال نموذجي في الشـــكل 18.3 . لاحظ العدد الكبير لجزيئات صـــغيرة جداً ، هذه تكون تحت جسيمات مفككة والتي تكون فقط جزءاً صغيراً من الكازين الكلي ، لا يتفق المؤلفون على التوزيع الحجمي .



شـكل 18.3 مثال لتوزيع حجم جسـيمات الكازين عدد (*N* ، الإحداثي الرأسـي الأيسـر) وتكرار الحجم (*V* الإحداثي الرأسي الأيمن) ضد القطر (*d*)

Figure 3.18 Estimate of the average size frequency distribution of casein micelles. Number (N, left-hand ordinate) and volume frequency (V, right-hand ordinate), both in percentage of the total per 20-nm class wwidth, against micelle diameter (*d*)

وجد بعضـــهم عدداً صـــغيراً من جســـيمات كبيرة جداً يصـــل قطرها إلى 600 نانومتر ، ونحن نحسب متوسط قطر حجم السطح (d_{vs}) نستبعد تحت الجسيمات المفككة لكي تكون عند 100 نانومتر على الأقل . بيانات أخرى موضحة في جدول 5.3 يجب التمييز بين نوعين من الاختلافات

أ- الاختلافات بين الجسـيمات في الحلبة الواحدة لبقرة واحدة ب- الاختلاف بين حصـص من اللبن من أبقار مختلفة ، تنتج أبقار مختلفة لبناً يتوزع بأحجام مختلفة ، وهذا ممثل في الجدول 6.3 .

جدول 5.3 التوزيع الحجمي لجسيمات الكازين

Table 3.5 Size Distribution of Casein Micelles

Without Particles <20 nm بدون جزيئات	Full Distribution التوزيع الكامل	Parameter المقياس
110	600	Number per μm^3
	0.06[a]	Volume fraction, φ
75	25	Number average diameter, $\bar{d}$ (nm)
120	90	Volume-surface average diameter, d_{vs} (nm)
	0.45	Width[b]
210	-	Mean free distance, x (nm)
3.0	4.0	Surface area (m^2/ml milk)[c]
	20	Same of submicelles (m^2/ml milk)

a. مثال تقريبي لمقياس التوزيع .

b. تشمل الطبقة الشعرية : 0.1 .

c. الانحراف العياري/متوسط حجم التوزيع .

d. مع استبعاد الطبقة الشعرية وافتراض شكل دائري .

a. *Approximate example of parameters of the distribution.*
b. *Including the hairy layer.* 0.1.
c. *Standard deviation/average of the volume distribution.*
d. *Excluding the hairy layer and assuming a spherical shape.*

يوضـح الجدول 6.3 أن مكونات البروتين تكون أيضـاً مختلفة . وخاصـة نسـبة الـــ K- كازين ، والتي تحدد إلى حد كبير متوســط حجم جســيمات الكازين لأن K-كازين يكون على

سطح الجسيمات ، يجب أن يكون محتواها متوقعاً ليكوّن علاقة عكسية مع d_{vs} ، وهذا تم تأكيده بعدة تجارب . (وهذا لا يعني أن هناك فقط K-كازين على سطح الجسيمات ، بالإضافة إلى ذلك يمكن أن يكون جزء صغير من الـــ K-كازين في داخل الجسيمات) . تتغير حجمية الجسيمات أيضـــاً . وســوف تزداد بصـــورة ملحوظـة بنقص حجم الجســيم لأن سمـك طبقـة

جدول 6.3 مدى التغير في خواص جسيمات الكازين

Table 3.6 The Extent of Variation in the Properties of Casein Micelles

الخاصية Property	تغيرات Variation داخل اللبن Within milk	بين الألبان Among milks
Particle size حجم الجزيئ	+ + +	+
Voluminosity الحجمية	+ +[a]	+ +[a]
Protein composition تكوين البروتين	+ +[ab]	+[ab]
كمية الفوسفات الغروية Amount of colloidal phosphate	+	+
مكونات الفوسفات الغروية Composition of colloidal phosphate	?	+

ملحوظة : النتائج التقريبية بين جسيمات صلبة واحدة و بين ألبان مختلفة على الترتيب .

a. تكون مرتبطة بحجم الجسيمات .

b. كلياً بسبب متغيران محتوى الكاباكازين .

Note: Approximate results of the variability between the micelles of one milking and between different milks, respectively.

a. lspartily linked with micelle size.

b. Mainly because of variable K-casein content.

الشعر ثابت (حوالي 7 نانومتر) والمحتوى البروتيني في هذه الطبقة منخفض . يمكن أن يختلف تكوين فوسفات الكالسيوم الغروية أيضاً . جسيمات كبيرة من المحتمل أن يكون لها محتوى *CCP* عالٍ .

2.3.3 تغيرات *Changes*

تتغير جسيمات الكازين ببطء أثناء حفظ اللبن ، والسبب في ذلك أنه لا توجد حالة حقيقية من الاتزان الحراري الديناميكي بين الجسيمات وما يحيط بها ، ومن المحتمل أن يكون التغيير الأساسي هو تحلل بروتيناً الـ β- كازين إلى α- كازين والبروتيوز-ببتون بواسطة البلازمين (جزء 2.5.2) ؛ يدخل جزء من البروتيوز-ببتون المصل . وحتى من الناحية الكيموفيزيائية البحتة ، لا تكون الجسيمات ثابتة . السبب الرئيسي هو أن الفوسفات الغروية لا تكون ثابتة في الشكل . ولهذا فالفوسفات سوف تتحول ببطء إلى فوسفات أكثر ثباتاً ، متصلة بالكازين بطريقة أخرى أو في شكل راسب يكون منفصلاً عن الجسيمات . بالإضافة إلى ذلك سوف تتغير جسيمات الكازين أثناء تغيير الظروف الخارجية وخاصة درجة الحرارة والأس الهيدروجيني . تكون بعض من هذه التغيرات عكسية بينما لا يكون البعض الآخر .

1.2.3.3 التوازن الديناميكي *Dynamic Equilibria*

تحافظ جسيمة الكازين وما يحيط بها على مكوناتها المتبادلة ، تمثل المتبادلات الأساسية تخطيطاً في شكل 19.3 . يمكن أن تعتبر المتبادلات توازناً ديناميكياً . ولذلك يمكن أن يكون اتزاناً كاذباً بديلاً عن اتزان حقيقي .

تكون المركبات المعدنية الأسرع تبادلاً . الأيونات المتبادلة الموجودة كأيونات حرة في الطبقة المزدوجة الكهربية ، سوف يحدث لها تبادل سريع جداً . بعض من مكونات الفوسفات الغروية ، شاملة فوسفات وسترات الكالسيوم والماغنسيوم ، يحدث لها أيضاً تبادل سريع (زمن الاسترخاء ساعة واحدة) ، بينما يظهر أن الجزء المتبقي يكون مربوطاً بقوة ، يمكن أن تنتشر التحت

جسيمات داخل وخارج كل جسيمة . يعتمد الوضع التعادلي على تلك العوامل مثل درجة الحرارة والأس الهيدروجيني و $a_{ca^{2+}}$. يكون التوزيع الحجمي نتيجة عملية مستمرة للتجمع والتشتت . تستطيع جسيمات الكازين أن تتفتت إلى وحدات صغيرة بواسطة قوى ميكانيكية أي بواسطة تجنيس قوي جداً . تعيد الشظايا المتكونة تجمعها بسرعة (زمن الاسترخاء دقائق معدودة) في توزيع حجمي طبيعي .

ويعني كل ذلك أن نموذجاً لجسيم الكازين ، كما هو مبين في الشكل 11.3 ، سوف يمثل صورة لحظية "لقطة" كما هي . ووقت التعرض حوالي 10^{-12} ثانية . تظهر الشعيرات البارزة الحركة السريعة . سوف تأخذ تغيرات صغيرة في شكل الجسيم أقل من ثانية واحدة . عند مقياس وقتي قدره دقيقة واحدة . سوف تترك بعض التحت جسيمات الجسيمات وسوف تدمج تحت جسيمات جديدة . وسوف يأخذ انتشار التحت جسيمات من جسيم واحد إلى جسيم مجاور وقتاً يقدر واحد ميلي ثانية .

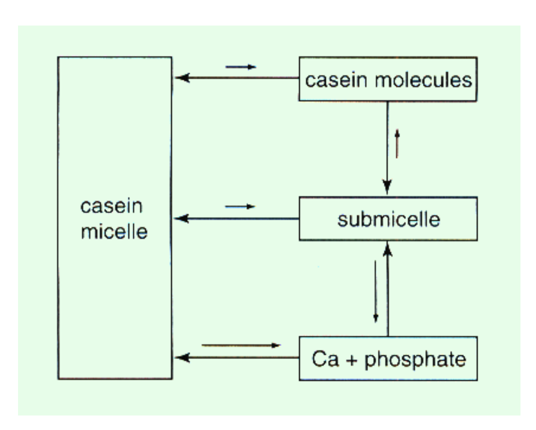
توجد جزيئات كازين حرة أيضاً في اللبن ، مع أن الجزيئات تشمل جزءاً ضعيفاً من الكازين فقط . تزداد هذه الكميات عند درجة حرارة فسيولوجية وفي درجات حرارة منخفضة بشكل ملحوظ (انظر قبله) . يقل المعدل النسبي لأغلب التغيرات بشدة بانخفاض درجة الحرارة ، بالرغم من أن العمليات يمكن أن تكون عكسية لدرجة أن المكونات التي تركت الجسيمات تستطيع الرجوع إليها (عندما تزداد الحرارة ثانية) ، ويبقى أن نرى هل هذا يكون راجعاً إلى تركيب جزيئات طبيعي . وبالإضافة إلى ذلك حجم الجسيمات وشحنتها الإلكتروستاتيكية يمكن أن يختلف عادة كنتيجة للتغيرات التي ذكرت سابقاً .

2.2.3.3 درجة الحرارة المنخفضة *Low Temperature*

يوضح شكل 20.3 بعض التغيرات التي تحدث بانخفاض درجة الحرارة . يحدث تفكك جزء من β– كازين ، ولكن من المهم أنه نلاحظ أنه جزء من β– كازين المذاب الموجود في التحت جسيمات المفككة . وبدون شك فالسبب الرئيسي لتفكك β– كازين هو أن الروابط الكارهة للماء والتي تكون مسئولة عن ربطه في التحت جسيمات تكون أكثر ضعفاً عند درجة حرارة منخفضة . وليس من المستغرب أن بعض الكازينات سوف تذوب ، انظر أيضاً شكل

1.21.3 . يمكن أن تهاجم إنزيمات محللة للبروتين الكازين في الحالة الذائبة . وبســـبب هذا مثلاً يتحول الـ β- كازين بسرعة بواسطة البلازمين عند درجة حرارة منخفضة .

وكما هو موضح في شكل 20.3 يزداد حجم الجسيمات بصورة ملموسة عند درجة حرارة منخفضة ، يجب أن تكون هذه الزيادة راجعة لتكوين مجموعة أخرى من الشعيرات ، بالإضافة إلى بعض جسـيمات β- كازين الموجودة بالمحلول ، والتي يمكن أن توجد مفككة لدرجة أن سـلاسـل β- كازين الآن يمكن أن تبرز من سطح لب الجسيمات ، وسوف تناقش هذه الطبقة الشعرية في جزء 2.3.2.3 حجم لب الجسـيمة ويمكن أيضـاً أن تزداد وأخيراً تحلل جديد إلى جسيمات أصغر قد تظهر والتي سوف تسبب زيادة متوسط الحجم .



شكل 19.3 مخطط للتوزان الديناميكي الأساسي بين جسيمات الكازين والمصل

Figure 3.19 Outline of the main dynamic equilibria between casein micelles and serum

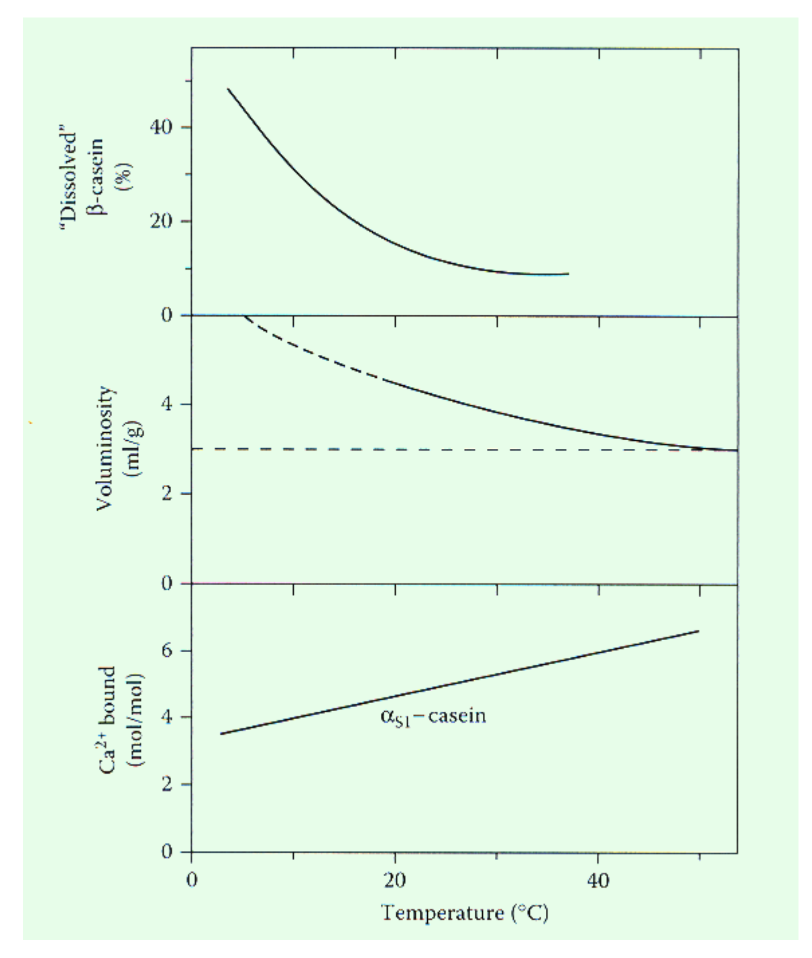
يمكن أن يكون تحلل الجسيمات نتيجة التبريد بسبب تفكك جزء من الـــ *ccp* ، يظهر الشـكل 20.3 أن تفكك أيونات الكالسـيوم مع α_{s1} كازين تقل بانخفاض درجة الحرارة ، وينطبق الوضـع أيضـاً على بقية أنواع الكازين ، فمن المحتمل أن يسـبب فقد الــــ *ccp* تجاذباً ضـعيفاً بين التحـت جسـيمات ، ومن المحتمـل حـدوث ربط ضـعيف لجزيئات الكـازين المنفردة في تحت الجسيمات .

إن التغيرات المذكورة آنفاً للجسيمات يجعل اللبن يكتسب صفات أخرى ، فمثلاً تزداد لزوجته بصورة معنوية ، يكون الثبات الغروي لجسيمات الكازين أكبر ، وبالتالي يظهر اللبن ميلاً ضعيفاً للقدرة على التنقيح أثناء عمل الجبن . لا تحدث كل هذه التغيرات حالاً عند التبريد ولكن يلزم 24 ساعة عند درجة 4 درجات مئوية قبل أن تكتمل . باستمرار تسخين اللبن يرجع β– كازين إلى الجسيمات ، وتزداد ثانية كمية الفوسفات الغروية . تحدث هذه التغيرات ببطء عند 30 درجة مئوية . تسخين اللبن إلى درجة 50 درجة مئوية والتبريد إلى 30 درجة مئوية يعيد مرة ثانية صفاته الطبيعية ، وعلى الأقل فيما يخص التنفيح واللزوجة . ومن المشكوك فيه أن تصبح جسيمات الكازين مطابقة للجسيمات الأصلية .

3.2.3.3 درجات الحرارة العالية ***High Temperature***

هناك امتداد ابتدائي للاتجاهات المبينة في شكل 20.3 . بزيادة درجة الحرارة ، تنكمش الجسيمات إلى حد ما وتزداد كمية الفوسفات الغروية . يوضح الشكل *A* 8.2 أن التغير الأخير يحدث ببطء ، وبالإضافة إلى ذلك فالفوسفات الغروية المضافة يمكن ألا يكون لها نفس صفات الفوسفات الطبيعية .

عند درجات حرارة فوق 70 درجة مئوية تصبح جزيئات الكازين أكثر مرونة (لا تكون مرنة تحت هذه الدرجة ولكن شعيراتها هي التي تكون مرنة) كما لو كان جزء من تركيب التحت جسيمات قد انصهر عند درجة حرارة عالية ، أي فوق 100 درجة مئوية ، يحدث تفكك جزء من الـ *K*– كازين . وتعتمد درجة التفكك على الأس الهيدروجيني ولا يحدث تفكك تحت أس هيدروجيني 6.2 عند درجة حرارة الغرفة ، ولكن هناك تحلل كامل عند أس هيدروجيني قدره 7.2 . وسبب ذلك غير مؤكد . وعلى الأقل يجب أن يكون جزء من التأثير نتيجة زيادة تأثير الأنتروبيا *entropy* عند درجة حرارة عالية . ولكن هناك عوامل مثل غياب فوسفات السيرين في جزء من سلسلة *K*– كازين التي تكون داخل تحت الجسيم ، يمكن أيضاً أن تكون متورطة في ذلك . ولهذا السبب يكون ارتباط *K*–كازين ضعيف أو غير مرتبط مع الفوسفات الغروية . وبمعنى آخر تبقى جسيمات تشبه الجزيئات عند درجات حرارة عالية حتى درجة 140 درجة مئوية .



شـكل 20.3 تأثير درجة الحرارة (بعد حفظ اللبن لمدة 24 سـاعة) على بعض خواص جسـيمات الكازين . نسـبة البيتا كازين غير المرتبط مع الجسـيمات الحجمية (بالميليمتر/جرام كازين جاف) من اللزوجة الداخلية ،تحت درجة حرارة 20 مئوية (الخط المتقطع) تكون القيم مقدرة بصـورة أكبر ، ربط أيونات الكالسـيوم بالألفا–كازين . النتائج مسجلة عند الأس الهيدروجيني الفسيولوجي

Figure 3.20 Influence of the temperature (after keeping milk for about 24 h) on some properties of casein micelles. Percentage of the β-casein not associated with the micelles. Voluminosity (in ml/g dry casein) from intrinsic viscosity; below 20°C (broken line) the values are probably overestimated. Binding of Ca^{2+} ions to α_{s1}-casein. Results at physiological pH

إذا وجد مصل ، كما يوجد دائماً في اللبن ، فقد يحدث تغيير ضروري آخر أيضاً عند درجة حرارة عالية ، يكون مصل البروتين متصلاً بجسيمات الكازين أثناء دنترها بالحرارة . وتصبح مرتبطة بسطح الجسيم ، يجب أن يكون الاتصال جزئياً لتكون الروابط الكبريتية $-S-S-$. مثال على ذلك هو ارتباط الـ β- لاكتوجلوبيلين مع K- كازين ، تكون أغلب هذه الارتباطات غير عكسية بالتبريد .

4.2.3.3 الحموضة *Acidity*

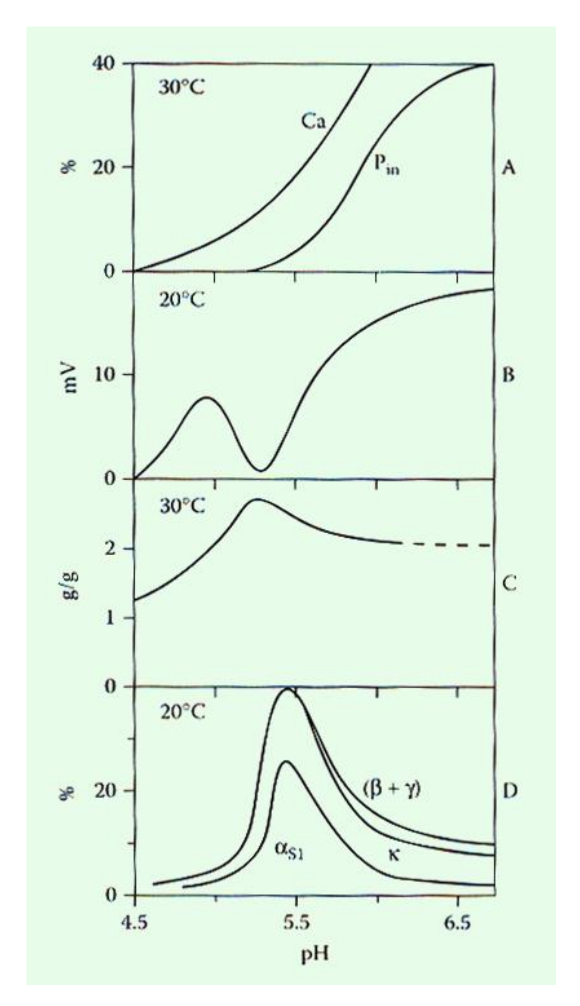
يوضح الشكل 21.3 بعض المتغيرات التي نتجت عن نقص الأس الهيدروجيني ، تنحو الفوسفات الغروية نحو المحلول ، مع التفكيك الكامل عند الأس الهيدروجيني 5.25 . تحتاج إزالة كل الكالسيوم إلى انخفاض الأس الهيدروجيني حتى يصل إلى أقل من الأس الهيدروجيني متساوٍ الجهد الكهربي للكازين ، يوضح الشكل 21.3 أن القيمة المطلقة للجهد ζ (والتي تنتج عن صافي شحنات الجسيمات) تنخفض بانخفاض الأس الهيدروجيني . وذلك بسبب زيادة تجمع أيونات الهيدروجين مع المجموعات القاعدية والحامضية للبروتين ، ولكن بسبب زيادة نشاط أيون الكالسيوم ، على الرغم من أن أيونات الكالسيوم ترتبط أيضاً مع المجموعات الحامضية . وبمعنى آخر يحل الكالسيوم محل فوسفات الكالسيوم إلى حد ما . وعند انخفاض الأس الهيدروجيني بدرجة أكبر ، فإن الشحنة السالبة للكازين تزداد أيضاً نتيجة تحلل أيونات الكالسيوم ، وفي النهاية تنخفض مرة آخرى ، نتيجة لارتباطها بأيونات الهيدروجين H^+ . وعند زيادة انخفاض الأس الهيدروجيني يصبح الكازين موجب الشحنة ، بالإضافة إلى ذلك يؤدي انخفاض الأس الهيدروجيني في البداية إلى انتفاخ الجسيمات ، ومن المحتمل أن يؤدي في النهاية إلى انكماش محسوس (شكل 21.3) عندما ينخفض الأس الهيدروجيني إلى 5.3 . ينتقل جزء كبير من الكازين إلى المحلول ويزداد الانتقال بزيادة كره الكازين للماء شكل 21.3 D يشير إلى درجة حرارة قدرها 20 درجة مئوية ، وعند درجات حرارة أعلى يكون التأثير قليلاً ، ويزيد التأثير عند درجات

حرارة أكثر انخفاضـــاً . يتغير متوســـط حجم الجزيئات قليلاً في منطقة الأس الهيدروجيني المأخوذة في الاعتبار . الكل متشـــابه . تكون الجزيئات مختلفة تماماً عند قيم الأس الهيدروجيني العالية والمنخفضة . عند الأس الهيدروجيني الفسيولوجي تحافظ فوسفات الكالسيوم الغروية على تماسك الجســيمات معاً . عندما ينخفض الأس الهيدروجيني ، تذوب الفوســفات ويؤدي ذلك إلى زيادة الروابط ضـــعفاً ، ويحدث بالتالي انتفاخ للجســـيمات مع تفكك جزء من الكازين . عند أس هيدروجيني منخفض تحافظ قناطر الملح الداخلية بين المجاميع الموجبة والســـالبة في البروتين على الجزيئات معاً . ومن الواضـــح أن التجاذب الكلي يكون الأقوى عند الأس الهيدروجيني متســـاوي الجهد الكهربي للكازين ، أي بالقرب من pH 4.6 . ويمكن أن تكون قوة مجموع كل أنواع الروابط الأضـــعف عند أس هيدروجيني قدره 5.25 . يعتمد هذا الأس الهيدروجيني الأمثل بعض الشـــيء على درجة الحرارة .

يســـبب زيادة الأس الهيدروجيني للبن أيضـــاً انتفاخ الجســـيمات واحتمالية تحللها ، ومن المحتمل أن تتحول الفوسفات الغروية إلى حالة أخرى .

5.2.3.3 التحلل *Disintegration*

يمكن أن تؤدي زيادة ضعف الروابط بين التحت جزيئات أو الروابط بين جزيئات البروتين في تحت الجزيئات ، إلى تحلل الجسـيمات . يمكن أن يكون سـبب النوع الأول تفكك الفوسـفات الغروية عند أس هيدروجيني ثابت ، أي بإضـــافة زيادة من رابط للكالســيوم مثل الســـترات ، إديتا *EDTA* أو أوكسالات . توجد أمثلة لتأثير إضافات مختلفة في جدول 6.2 . يحدث النوع الثاني من التحلل بواســـطة إضـــافة متفاعلات مثل دوديســـيل ســـلفات الصـــوديوم أو كميات كبيرة من اليوريا ، والتي تكســـر الروابط الهيدروجينية أو تفاعلات كارهة للماء . المتفاعلات التي تكســـر من الروابط الكبريتية $-S-S-$ لا تحلل الجسيمات ولكن من غير المعلوم أن تكون قد أحدثت تغيرات أقل قوة .



شكل 21.3 خواص جسيمات الكازين كدالة على الأس الهيدروجيني (A) نسبة الكالسيوم والفوسفات غير العضوية في الجسيمات (B) الكهرباء الحركية السالبة أو القوة الدافعة الكهربية s (C) كمية الماء لكل جرام كازين جاف في جسيمات منفصلة (D) نسبة الكازينات المختلفة التي لا تستطيع أن تنفصل بواسطة الطرد المركزي (في اللبن)

Figure 3.21 Properties of casein micelles as a function of pH. (A) Percentage of calcium and inorganic phosphorus in the micelles. (B) Negative electrokinetic or zeta potential. (C) Amount of water per gram of dry casein in micelles separated by centrifugation. (D) Percentage of the different caseins that cannot be separated by high-speed centrifugation (in milk)

3.3.3 الثبات الغروي *Colloidal Stability*

جسـيمات الكازين جزيئات غروية كبيرة بقدر كافٍ لكي تتلبد كنتيجة لتجاذب متبادل بقوى فاندفالز . ولكن تحت ظروف فسيولوجية لا تتلبد الجسيمات . وعلى ذلك يجب أن يكون هناك قوى طاردة تمنع التجمع . يمكن أن تتغير الأوضاع في اللبن بطريقة تسمح للجسيمات أن تتلبد أي بإضافة كميات كبيرة من أيونات الكالسيوم أو الإيثانول أو باستخدام درجات حرارة عالية للغاية . وفي جميع هذه الحالات تكون جسيمات الكازين أقل ثباتاً عن الكازين الذائب ، بسبب الأنتروبيا العالية للغاية للجزيئات الحرة . يمكن أن يحدث التلبد فقط إذا كان نتيجة لانخفاض الطاقة الحرة والذي يكون بدوره نتيجة انخفاض الطاقة الرابطة ، يسبب التلبد أيضاً انخفاض في الأنتروبيا *Entropy* وهذا يزيد الطاقة الحرة (حيث أن $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$) ولذلك تضاد عملية التلبد . ولكن كثيراً من الأنتروبيا يكون قد تم فقده في تكوين الجسيمات لدرجة أن الانخفاض الزائد في الأنتروبيا يكون تجمع الجسيمات معدوماً ، ومن الواضح أن الثباتية الغروية لجسيمات الكازين تحتاج إلى بعض الشرح .

1.3.3.3 أسباب الثبات *Cause of Stability*

في النظرية الكلاسيكية *DLVO* تؤخذ التنافر الإلكتروستاتيكي وقوى تجاذب فاندروالز في الاعتبار لشرح ثباتية الجزيئات الغروية . ويكون للجسيمات بسبب شحناتها قوة دفع كهربي ζ (والتي يمكن تحديدها) وعلى افتراض أن هذه الجسيمات تكون كاملة الاستدارة . يمكن حساب قوة التجاذب وهي الطاقة الحرة اللازمة لجلب جسيمان من لانهاية إلى مسافة قريبة من بعضها ، مثال ذلك المنحنى *A* في شكل 17.3 . وعند مسافة قريبة جداً تجذب الجزيئات نفسها (طاقة حرة سالبة) ولكن التجاذب عادة ما يحدث عند مسافة أكبر بعض الشيء ، كما يوضح المنحنى *A* . إذا كانت طاقة التجاذب عالية وتكون مرات كثيرة *KT* (متوسط الطاقة الحرارية بين جزيئين يقابلان بعضهما) . لا يكون التقارب اللصيق جداً ممكناً ، وبمعنى آخر ، سوف تمنع طاقة التنشيط الحر التلبد . بالرغم من وجود كثير من عدم الدقة في حساب المنحنيات مثل منحنى *A* ، ولكن يبدو واضحاً أن التنافر الإلكتروستاتيكي المذكور عالية لا يكفي لمنع تلبد جسيمات الكازين .

ميكانيكية إضـــافية لمنع الثبات الغروي . يجب أن يكون التجاذب الذي تســـببه الطبقة الشعرية حول الجسيمات مسئولاً . شعرة في هذه الطبقة تتكون من سلسلة ببتيدية مرنة والتي تحافظ على التغيرات التكوينية نتيجة الحركة البراونية *Brownian motion* . إذا كان وجود جزيء آخر يعوق حرية حركة الشـعرة ، فإن هذا يسـبب فقد الأنتروبيا والتنافر بالتالي . ويســمى هذا الوضـع الإعـاقة الحجمية *Volume Restriction* وينتج واحـد من المصـــطلحات في المعادلة للتباعـد الفراغي . المصـطلح الثاني هو ما يســمى الخلط *mixing* والذي يصـبح غاية في الأهمية إذا كانت الطبقات الشـــعرية لجزيئين متراكبين . إذا كانت كمية المذيب الســـائل للشـــعيرات قليلة ، فالخلط ســوف يؤدي على تجاذب الجســيمات ، إذا كان الخلط جيداً فسـوف يكون هناك تنافر . تذوب أجزاء الــــ K- كازين المنفصـــلة من الجســيمات فوراً في مصـــل الدم . يعني هذا أن كمية المذيب جيدة ، وعلى ذلك يكون هناك تنافر ، والذي ســوف يزداد بزيادة اقتراب ســطوح الجســيمات ، بسبب الاختراق المتبادل للطبقات الشعرية . يجب أن تؤخذ طاقة التنافر في الاعتبار وعلى ذلك لا يمكن حساب قوة التنافر . يعطي المنحنى B في شكل 22.3 اتجاهاً تخطيطياً .

لا يستطيع التنافر الفراغي شرح كل الملاحظات ، في البداية ، إذا كان منحنى التفاعل B في شـكل 22.3 صـحيحاً فإن الجسـيمات لا يمكن أبداً أن تتلبد (إلا إذا فقدت طبقتها الشـعرية) بالإضافة إلى بعض المتغيرات التي تؤثر فعلياً على ثبات الجسيمات يمكن بصعوبة أن يكون لها تأثير على التنافر الفراغي . والأمثلة هي زيادة نشـاط أيون الكالسيوم ، ونقص الأس الهيدروجيني ونقص ثبات العازل الكهربي ، وجميعها سوف تسبب نقصاً للتنافر الإلكتروستاتيكي وتثبط التلبد ، تعطي الأنظمة التالية تفسيراً نظرياً .

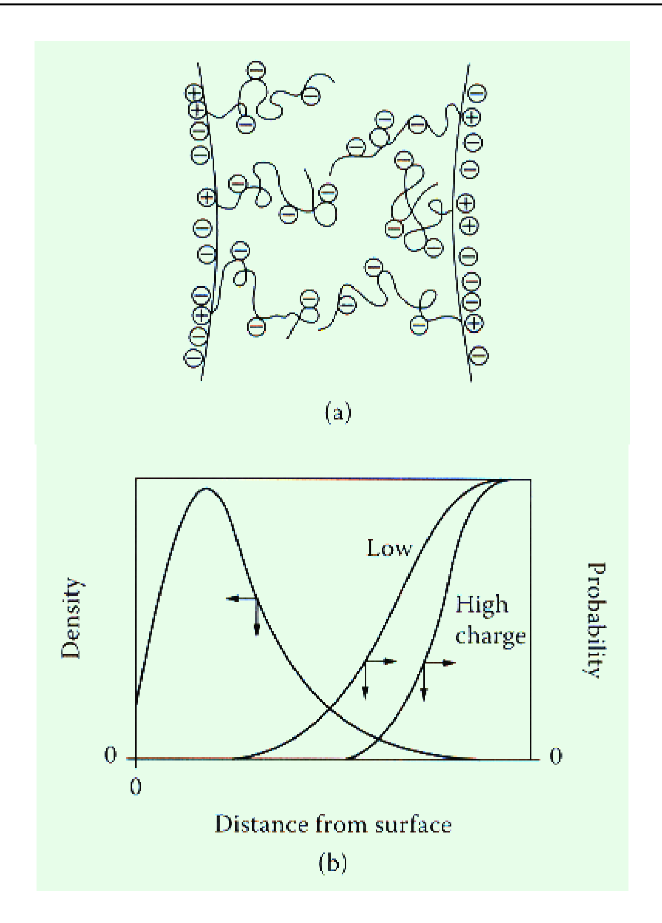
إذا تقارب جسيمان من بعضـهما نتيجة الحركة البرونينية ، يمكن أن تتراكب طبقات شعر الجســـيمات فوق بعضـــها . ويمكن أن يحدث تنافر فراغي نتيجة لهذا التراكب . الســـمك الهيدروديناميكي لكل طبقة هو حوالي 7 نانومتر . ولذلك يبرز بعض من الشـــعر على الأقل فوق مسافة أكبر من سطح لب الجسيمات . وهذا يعني أن التنافر سوف يحدث عند مسافة قدرها 20 نانومتر . وكما هو موضـــح في منحنى A من الشـــكل 22.3 عند هـذه المســـافة أي تنافر

إليكتروستاتيكي ناتج عن صغر حجم مجموعات مشحونة على سطح الجسيم يمكن إهماله ، ويصح هذا بالضرورة نتيجة السمك الصغير للطبقة المزدوجة الكهربية في اللبن ، أي حوالي 1.1 نانومتر (جزء 1.2.2.2) ولكن ليس كل الشحنة تكون على سطح لب الجسيمات . جزء هام على الشعيرات . كما هو موضح في شكل *a* 22.3 (الوضع هو في الحقيقة أكثر تعقيداً مما هو موضح بسبب وجود شحنات زائدة على الشعر ، بما فيها الشحنات الموجبة) . ومن المفهوم ضمناً أن التنافر الإلكتروستاتيكي يمتد عبر مسافة أبعد من سطح لب الجسيمات . ولو أنه ليس بدرجة كافية لمنع التلبد . يمكن أن يؤثر التنافر الإلكتروستاتيكي على مسافة الجسيمات المجاورة . الاختلاف في الشحنة الإلكتروستاتيكية لذلك له تأثير على مدى تطبيقات الطبقات الشعرية ***hairy layers*** . وهذا موضح تخطيطياً في شكل *b* 22.3 .

سوف تلامس شعيرات الجسيمات بعضها غالباً إذا تراكبت الطبقات الشعرية أثناء الملاقاة . يمكن أن تتكون الروابط العرضية ***crosslinking*** بين المواقع المتفاعلة إذا حدث تلامس لهذه السطوح . يزداد الميل لتكوين الروابط مع زيادة عمق الاختراقات المتبادلة للطبقات الشعرية . يمكن أن ترتبط الجسيمات مع بعضها بواسطة قنطرة ملحية بسيطة أو قنطرة كالسيوم ، أو تكوين روابط فوسفاتية غروية ، أو عند درجة حرارة عالية أو تكوين روابط تساهمية بين بقايا الأحماض الأمينية (جدول 2.7) . عندما تخص الروابط غير التساهمية التي يمكن أن تكون قصيرة العمر ، مثل قناطر الكالسيوم ، فإن روابط عديدة يجب أن تتكون بين جسيمين لكي يبقى هذا الاتصال .

2.3.3.3 أسباب عدم الثبات ***Causes of instability***

بالرغم من أن جسيمات الكازين الطبيعية تكون ثابتة ، لكن يمكن أن يؤدي تغيير في الوسط البيئي إلى التلبد أو إلى تجمع الجسيمات ، تم ذكر الأسباب الرئيسية لهذا التجمع في جدول 7.3 وعامة التغير في الظروف يسبب تغيرات في الجسيمات قبل حدوث التجمع ، بالإضافة إلى ذلك فالتجمع عادة يكون غير عكسي ، الحالات المختلفة سوف يتم مناقشتها باختصار . التلزن الحراري ***Heat coagulation*** والتنفيح تمت معالجتهما في أجزاء 2.6 و 3.12 على الترتيب .



شكل 22.3 ***a*** صورة افتراضية للتفاعلات بين جسيمين كازين (*a*) تراكب طبقات شعرية وشحنات إلكتروستاتيكية (*b*) متوسط كثافة مادة السلاسل الببتيدية البارزة للجسيم الأيسر كدالة عن المسافة بين سطح لب هذا الجسيم ، كذلك الاحتمال النسبي لوجود قطعة من شعر الجسيم الأيمن في الطبقة الشعرية للجسم الأيسر للشحنة الكلية المنخفضة والعالية للشعيرات على التوالي ***b*** تجمع جسيمات الكازين 1. تفاعلات التلبد 2. الاتحاد 3. مثال لقطيع من الجسيمات المتكونة أثناء تكوين التلبد

Figure 3.22 Hypothetical picture of interactions between two casein micelles. (a) Overlapping hairy layers and electrostatic charges. (b) Average density of material of the protruding peptide chains of the left micelle as a function of the distance from the core surface of that micelle. as well as the relative probability of finding a segment of a hair of the right micelle in the hairy layer of the left one, for a low and a high net charge of the hairs, respectively

جدول 7.3 الأسباب المختلفة لتجمع جسيمات الكازين

Table 3.7 Various Causes the Aggregation of Casein Micelles

التجمع عند درجة حرارة منخفضة Aggregation at low Temperatures?	هل لتجمع عكسي Aggregation Reversible?	هل تغيرت الجسيمات Micelles Changed?	السبب Cause
No	No	Yes	عمر تخزيني طويل Long storage (age gelation)
No	No	انتشار Spreading	عند السطح بين الهواء – الماء At air-water interface
-	No	كيميائياً Chmically	High temperature (heat coagulaion)
No	(Yes)[a]	No CCP left	Acid to pH=4.6
?	No	Presumably	Ethanol
No	No	k-Casein split	Renneting
?	Yes	More CCP	Excess Ca^{2+}
-	(Yes)[b]	Presumably	Freezing plus thawing
Yes	Mostly	No	Addition of some polymers

a. عند أس هيدروجيني متعادل ، تذوب التجمعات ثانية ولكن الجسيمات الطبيعية لا يعاد ظهورها .

b. جزئياً ، اعتماداً على الظروف .

CCP فوسفات الكالسيوم الغروية

a. *At neutral pH, the aggregates dissolve again but the natural do not reappear.*
b. *Partly, depending on conditions.*
CCP, colloidal calcium phosphate.

تحدث الثخانة بطول فترة التخزين والجلتنة (تكوين الهلام) عادة في اللبن المبخر ، واللبن المكثف المحلي *Evaporated and sweetened condensed milk* . وسبب تكوينهما غير واضح . ولقد أوضح الميكروسكوب الإلكتروني أن الجسيمات في هذه المنتجات تصبح أقل نعومة ويظهر انبعاجات للخارج تزداد باستمرار . انظر أيضاً شكل 18.7 . سبب هذا التأخير زيادة في لزوجة المنتج واحتمالية تكوين شبكة مستمرة ، ولهذا السبب يتكون الهلام . خفق الهواء في اللبن يسبب ادمصاص جزيئات الكازين على فقاعات الهواء المتكونة . يمكن أن تنتشر الجسيمات جزئياً فوق سطح الفقاعة . بعد ذوبان الهواء نفسه ، تبقى المادة المدمصة كنوع من الكيس (بالونة مفرغة من الهواء) وفيه يمكن التعرف على الجسيمات ، هذا ما يسمى غشاء الشبح *Ghost membrane*

الذي يكون ثابتاً للغاية ، والذي يعني ضـمناً أن جزيئات الكازين تظل متجمعة . الشـرح الجزيئي للظاهرة غير أكيد . يمكن ملامسـة الجسـيمات المنتشـرة جزئياً بعضـها البعض عند أماكن ليس بها شعر ، مؤدية إلى التحامها .

يمكن شـرح التجمع الذي سـببته عملية التحميض ببسـاطة ، يصـبح الكازين غير ذائب بالقرب من الأس الهيدروجيني متسـاوي الجهد الكهربي ، لاحظ أنه حتى لو حدث انخفاض بسـيط في الأس الهيدروجيني نتج عنه انخفاض معنوي للشحنة يسبب زيادة نشـاط أيون الكالسيوم والذي يقلل بدوره الثبات الغروي .

يخفض إضـافة الإيثانول نوعية المذيب لشـعيرات الكاباكازين ، ويسـبب هذا تحطم الطبقة الشـعرية وانخفاض التنافر الفراغي أو حتى تحوله إلى انجذاب ، يسـرع التأثير الأخير بواسـطة انخفاض في ثابت العزل الكهربي ، والذي يسـبب انخفاض التنافر الإلكتروسـتاتيكي . بالإضـافة إلى ذلك تتحول الفوسـفات الغروية إلى حالة أخرى غير معروفة والتي تسبب تجمع الجسيمات اللاعكسي . كلما انخفض الأس الهيدروجيني للبن ، كلما قل تركيز الإيثانول الذي يسـبب التخثر . يمكن أن تسـتخدم هذه القاعدة لكي نحدد بسـرعة الحموضـة في اللبن (اللبن الرائب) . في التجربة المسـماة ثباتية الكحول *Alcohol stability* اللبن والإيثانول يتم خلطهما بنسـب محددة، فإذا حدث تلبد ، فإن اللبن يعتبر رائباً .

تسـرع زيادة أيونات الكالسـيوم احتماليات تكون قنطرة الكالسـيوم ***Ca bridge*** ، بالإضـافة إلى ذلك فإنها تقلل شـحنة الجسـيمات وتزيد فوق التشـبع ***super-saturation*** . فيما يتعلق بفوسـفات الكالسيوم في مصـل اللبن ، سوف يسبب الأخير تكون فوسـفات غروية إضـافية (بالإضـافة إلى احتمالية مشـاركة بقايا فوسـفات السـيرين للجزء البارد لبقايا الكاباكازين) . والتي سوف تسبب التحام الجسيمات . وبمعنى آخر إذا تم ترسيب كبير لـ ***CCP*** فإن التنافر الفراغي يقل مؤدياً إلى عملية تكتل أحياناً . يحدث هذا في اللبن الطازج والذي يحدث له تخثر فجائي بعد

الحلب مباشرة ، وهذا ما يسمى بلبن أتريشت *Utrecht milk* . هذا الشذوذ له علاقة بمحتوى السترات المنخفضة . وينشأ نشاط أيون كالسيوم عالٍ في اللبن .

يؤدي تجميد اللبن إلى زيادة عالية لتركيزات الملح في المحلول غير المتجمد المتبقي ، يمكن مقارنته الوضع بما جاء في الفقرة السابقة ، ولكن هناك أيضاً خروج ملحي حقيقي ***true-salting out*** . تحدث تغيرات بطيئة في الـــ *CCP* والتي تسبب تكتل الجسيمات والتي لا يعاد انتشارها بالكامل بعد إذابة الثلج . انظر أيضاً فصل 2.11 .

السبب المذكور أعلاه للتكتل له طبيعة مختلفة . بعض السلاسل الطويلة للجزيئات المتبلمرة يمكن أن يحدث لها ادمصاص على جسيمات الكازين . إذا كوّن البوليمر شبكة ، فإن الجسيمات تكون محتواة بداخلها . فمثلاً ، الهلام الضعيف يمكن الحصول عليه بواسطة إضافة قليل من *k*– كاراجينان *k-carrageenan* إلى لبن الشيكولاتة *Chocolate milk* ، ومحاولة تجنب ترسيب جزيئات الكاكاو *cocoa* . يمكن أن تسبب تركيزات عالية من البوليمرات المناسبة نوعاً من الترسيب المشترك للبوليمر والكازين . ومن المحتمل أن تبقى الجسيمات دون تغيير . وعلى ذلك يكون التكتل المقصود عكسياً .

3.3.3.3 تأثير درجات الحرارة ***Effect of Teperature***

كلما انخفضت درجة الحرارة ، ارتفع الثبات الغروي لجسيمات الكازين . يوضح الجدول 7.3 أن أغلب تفاعلات التكتل لا تحدث عند درجة حرارة منخفضة ، أي عند درجة حرارة 5 مئوية . وهذا لا يفهم أن روابط قوية لا يمكن أن توجد بين الجسيمات عند درجة حرارة منخفضة . بعد تكتلها عند 30 درجة مئوية مثلاً بواسطة عملية تنفيح أو تحميض اللبن ، لا ينتشر الهلام المتكون ثانية بانخفاض درجة الحرارة أي 5 درجات مئوية ، وتصبح أكثر صلابة ، والتي يفهم منها ضمناً أن عدد أو قوة الروابط بين الجسيمات تزداد (*b* 23.3) وبمعنى آخر ، لا تتلبد جسيمات الكازين عند درجة حرارة منخفضة بسبب طاقة تنشيط عالية للتلبيد

flocculation . ويمكن شـرح ذلك كالتالي ، يوضـح شـكل 14.3 أنه بخفض درجة الحرارة تزداد حجومية الجســيمات . وهذا يمكن شــرحه بتكوين طبقة شــعرية أسمك أو طبقة ذات تركيب آخر ، ســلاســل β – كازين خاصــة يمكن أن تبرز من ســطح الجســيمات عند درجة حرارة منخفضـة . ويسـبب ذلك سـوف يكون التنافر الفراغي أقوى ، وتبقى أيضـاً بعد إزالة شـعيرات الكاباكازين ، كما يحدث في عملية التنفيح . وبصـرف النظر عن ذلك ، يؤدي انتفاخ الجسـيمات إلى تجاذب فاندرفالز أصغر .

يقـل ثبـات الجســـيمـات عنـد درجـات حرارة عـاليـة ، وتقـل أكثر عن ذلـك عنـد أس هيدروجيني أقل ، وهذا سوف يناقش في الجزء 2.6 .

4.3.3 تكوين الهلام وخواصه *GEL Formation and Properties*

تلاقي جســيمات الكازين بعضـــها البعض غالباً بســبب الحركة البروتينية ، ســـوف تسـحب الجسـيمات ثانية بعد عمل الاتصـال ، ولكن تسـتطيع الجسـيمات في بعض الأوقات أن تبقى معاً نتيجة تكون الروابط وتصبح متكتلة . ويتم توضيح ذلك تخطيطياً في شكل 18.3 . تفاعل 1 فيما بعد يمكن أن يحدث اتحاد الجســيمات كما هو موضـــح في تفاعل 2 . عادة سـوف يكون الاتحاد عملية بطيئة ، ولكنها تكون أسـرع إذا ما تم إزالة أغلب الشـعر . ومن المهم أن يكون الاتحـاد هو نفس التفـاعـل كمـا في تكوّن جســيمـات الكـازين من تحـت الجســيمات كما هو موضــح في جزء 2.2.3 (شــكل 13.3) . هناك تعادل ديناميكي بين تحت الجسيمات ، والجسيمات ، سوف يتحقق مثل هذا التعادل عندما تصبح جسيمات جزيء واحد نتيجة للتكتل ، لذلك يكون الالتحام جزيئات ذات شكل دائري نوعاً ما .

تحتاج أغلب التكتلات وقتاً أطول لكي تلتحم (التفاعل 2) عن التلبد (التفاعل 1) ويتم على النحو التالي ، تتلبد ندف صغيرة أولاً مع بعضها ومع جسيمات منفردة ، ثم بعد ذلك تتلبد ندف كبيرة مع ندف أخرى بصـورة متزايدة ، ويسـبب عامل الاحتمالات في عملية التلبد ، الندفة المتكونة يكون لها تركيب مفتوح كما هو موضح في شكل 18.3 البند 3 . تكون هذه الندف ذات

طبيعة جزئية ، أي أنها تكون ذات مقياس رسم غير متغير ***Scale-invariant*** وهذا يعني أن عدد الجزيئات في ندفة لها قطر R يتناسب مع R^D حيث D هي أبعاد الندفة والتي يكون عادة أصغر من 3 . لجسيمات الكازين المتلبدة فقد وجد أن $D = 2.3$. ولأن الحجم المشغول بالندفة يكون متناسباً مع R^3 ، كسر حجم الجزيئات في الندفة ϕ_{floc} متناسب مع R^{D-3} . وعلى ذلك فالندفة تصبح أقل كثافة كلما كبرت في الحجم ، ϕ_{floc} تتناسب عكسياً مع $R^{0.7}$. وعندما يصبح متوسط ϕ_{floc} مساوياً لحجم الجزيئات في السائل ϕ ، فالندفة تملأ الحجم الكلي وعند ذلك يتكون الهلام .

شكل 23.3 *A* خصائص هلامات اللبن الفرز المحمض ، في (a) أيضاً إضافة المنفحة للهلام (R) تؤخذ في الاعتبار . (a) رسم معامل الشير G كدالة لتركيز الكازين (b) المعاملات كدالة عن قياس درجة حرارة ، درجة الحرارة تصنيع وتعتيق الهلام هي 30 درجة مئوية (c) نصف القطر الفعال لبناء كتل الهلام a_{eff} بالنسبة لنصف قطر الجزيء a كدالة لدرجة حرارة الجلتنة ، الغرض هو توضيح الاتجاه

Figure 3.23 Properties of acid skim milk gels; in frame (a) also a rennet gel (R) is considered. (a) Elastic shear modulus G as a function of casein concentration (log-log plot). (b) Modulus as a function of measurement temperature; the temperature of making and aging the gel was 30°C. (c) The effective radius of the building blocks of the gel *Geff* relative to the particle radius *G*, as a function of gelation temperature. Meant to illustrate trends

إذا كان التفاعل 2 سريعاً بالنسبة للتفاعل 1 ، تظهر جزيئات كثيفة وكبيرة ، وحتماً سوف يتكون الراسب . يتكون الراسب أيضاً عندما تظهر الندف المتكونة قابلية قوية للانقباض والتعاون (جزء 3.21) ، أو عندما يقلب المحلول أثناء التلبد ، هناك أيضاً ميكانيكيات أخرى لتكوين الهلام ، كما تم وصفه بالنسبة لعمرالهلام والبوليمرات في جدول 8.3 .

تعطي نظرية سموليكوفسكي *Smoluchovski's theory* تكرار تصادم الجزيئات في الحركة البرونينية ، وعلى افتراض أن جزءاً معيناً من التصادمات أدى إلى تلبد وبحساب جزيئان قد تلبدا كجزيء واحد ، ونقص عدد (N) للجزيئات لكل وحدة حجم في زمن (t) فسوف يكون :

$$-dN/dt = (4KTN^2/3\eta_c)/W \qquad (3.2)$$

حيث K هي ثابت بولتزمان ، و T هي درجة الحرارة المطلقة ، η_s هي لزوجة الحالة المستمرة ، Continous phase و W هو عامل الثبات ، أي نسبة عدد التصادمات إلى العدد المؤدي إلى الالتحام الأخير . وكقاعدة يمكن أن نحسب W من نظرية الثبات الغروي ، وعلى ذلك فجسيمات الكازين عادة لا تستطيع التلبد بسبب زيادة متوسط قطر الجزيء الأصلي (a) . في حالة التلبد يزداد القطر بسرعة كما تم ذكره من قبل . وبجمع نظرية التلبد مع معادلة 2.3 ، تكامل 3.2 تعطي وقت التحول إلى هلام (t_{gel}) والتي تصبح :

$$t_{gel} = (\pi a^3 \eta_c / KT)\phi^{3/CD-3)} W \qquad (3.3)$$

حيث a هي قطر جسيمات الكازين . ومن الواضح أن وقت التحول إلى هلام يعتمد على ϕ (الحجم الكلي للجزيئات في السائل) . فمثلاً عندما تكون $\phi = 0.1$ ، فإن وقت تكون الهلام يكون 110 مرة مادام $\phi = 0.3$. هذا السبب الرئيسي للاختلاف الكبير في حرارة زمن التخثر في اللبن المبخر عندما يقارن باللبن غير المبخر .

ما قيمة عامل الثبات (W) اللازم لإحداث الثباتية ؟ من المعادلة 3.3 t_{gel} تكون أصغر من 10 ثواني للبن الفرز لـ $W=1$ ، ولكن اللبن الفرز إذا كان معقماً ومنزوعة منه الإنزيمات المحللة للبروتين ، يمكن أن يحفظ في درجة حرارة الغرفة لمدة 3 سنوات على الأقل بدون أن تتكتل

جســـيمات الكـازين لتعطي هلاماً ، ويعني هـذا أن قيمـة $W = 10^7$ على الأقـل ، وبمعنى آخر، جسيمان متقابلان نادراً ما يلتحما ***Lasting contact*** .

إذا كان التفاعل 2 (شـكل 18.3) أسـرع من التفاعل 1 ، فإن تكون الهلام لا يحدث ، ولكن تزداد الجزيئات المتكونة في الحجم . يمكن أن تعتبر اللحظة التي تظهر يها الجزيئات المرئية كنقطة تخثر . يعتمد هذا الوقت بشـكل أقل على ϕ ، وهو أطول من t_{gel} المناظر في المعادلة 3.3 . عدد مرات تلاقي الجزيئات المتقابلة في الحركة البراونينية تقل بقوة كلما ازدادت الجزيئات في الحجم ، وبالتالي تقل في العدد (انظر المعادلة 3.2) من الناحية العملية ، معدلات االشـير ***shear rates*** التي يسـببها تذبذب درجات الحرارة البسـيط ، سـوف تسـرع بقوة معدل التجمع طالما أصـبحت المتجمعات كبيرة (عدة ميكرومترات) النظرية التي تفسر ذلك سوف لا يتم مناقشتها .

عندما تتجمع جسيمات الكازين في اللبن المنزوع الدسم ، يتكون الهلام الكسر ***fractal gel*** إذا تجمعت في اللبن كريات الدم يتم اصـطيادها في ثقوب الهلام ، تحدث هذه العمليات أثناء عملية التنفيح والتحميض البطيء للبن ، قبل أن تبدأ الجســيمات في التجمع ، أي تقليب نتيجة إضـافة المنفحة أو البادئ ، وأيضـاً أثناء التخثر الحراري للبن المركز . فإن التجمع الكسـر يمكن أن يحدث .

سوف نناقش في هذا الفصل المنفحة وهلام لبن الفرز الحامضي ببعض التركيز على الأخير . لأن هلام المنفحة سـوف يناقش حين الكلام عن صـناعة الجبن (تحت فصـل 4.3.24) . ويمكن أن نلاحظ أن جزيئات الهلام في هذه الحالات ليســت جسـيمات كازين بالكامل ، فهلام المنفحة يصنع من جسيمات الباراكازين ***Paracasein*** هذه قد فقدت شعيرات الكاباكازين الخاصة بها . ومن المحتمل أن تكون الروابط بين الجزيئات لأغلب الأجزاء قنطرة *–Ca–* . عند أس هيـدروجيني منخفض ، تفقد الجسـيمات فوسـفات الكالسـيوم شـبه الغروي ، وتحافظ على سـلامتها بواسـطة قناطر ملحية داخلية وروابط كارهة للماء ، ومن المحتمل أن تتكون بين الجزيئات نفس الروابط .

يمكن أن يُميَّز الهلام بعدة مؤشرات ، أهمها تركيب الهلام وخاصة خشانة الشبكة التي يمكن أن تحدد حجم الثقب (التوزيع) ، تكون الخواص الريولوجية أيضاً أساسية . ويمكن أن نحدد معامل

الصلابة أي نسبة ضغط الشير المؤثر فوق السلالة الناتجة (التشوه النسبي) . يمكن استخدام هذا المقياس عند سلالة صغيرة جداً . عند السلالة الكبيرة يفقد التناسب بين الضغط والسلالة ، وعندما يصل الضغط الكسري *fracture stress* أو قوة المادة ، فإن القطعة المخثرة تتكسر ، تعتبر السلالة الكسرية متغيراً مناسباً . ويمكن أن تختلف جميع هذه المؤشرات وهي هامة بالنسبة لاستخدامات خواص الهلام . المناقشة عالية مبسطة للغاية ، تعتمد المؤشرات الريولوجية أيضاً على عوامل أخرى وخاصة على معدل التشوه .

في جدول 8.3 وشكل 23.3 تم عرض بعض البيانات عن خواص هلام اللبن المنزوع الدسم ، يتضح من نتائج الجدول أن النوعين لا يختلفان كثيراً ، وعلى ذلك فالمعاملات تختلف بواسطة العامل 3 . ويجب أن نعرف أن قيمة العامل تعتمد على عوامل عديدة (1) عدد الاتصالات والتي تعتمد على تركيز الجزيئات والشكل الفراغي للشبكة ، (2) عدد وقوة الروابط في الاتصال ، (3) معامل الجزيئات (جسيمات الكازين تكون مشوهة) .

جدول 8.3 بعض خواص الهلامات المحضرة بالتنفيح أو بواسطة التحميض البطيء للبن الفرز عند درجة 30 مئوية

Table 3.8 Some Properties of Gels Made by Renneting or by Slow Acidification of Skim Milk at 30°C

Acid Gel الهلام الحامض	Rennet Gel الهلام المنفح	Property الخاصية
4.6	6.65	pH
2.35	2.25	Fractal dimensionality
100	30	Elastic shear modulus (Pa)
100	10	Fracture stress (Pa)
-1	-3	Fracture strain
-18	-10	Size of largest pores (μm)
Virtually not	Yes	Occurrence of syneresis

ملاحظة : أمثلة تقريبية

Note: Approximate examples.

ويبدو أن الهلام الحامضي يكون فيه الضغط الكسري أكبر والتشوه عند الكسر أصغر مما هو في هلام المنفحة . ويرجع هذا إلى أن الجزيئات تكون أصلب عند أس هيدروجيني قدره

4.6 عنه من 6.6 . ويؤثر هذا أيضاً على معامل تكوين الهلام . اختلاف آخر هو أن هلام المنفحة يظهر إعادة ترتيب تركيبي طويل الأمد معتبر (أي بعد تكون الهلام) والذي يؤدي إلى شد الشرائط في الهلام الكسري . ويكون هذا التفسير الرئيسي للاختلاف في انحدار الخطين في الشكل 23.3 *a* .

نوع آخر من إعادة الترتيب ، هو التحام الجسيمات بعد تجمع جسيمات مباشرة ، فإنهما يكونان اتصالاً صغيراً والذي يحتوي على عدد صغير من الروابط . يزداد حجم الاتصال مع الوقت ، وعلى ذلك فإن عدد الروابط الناتجة يزداد . تكون هذه العملية سريعة نسبياً في هلام المنفحة ، فقيمة المعامل في الجدول (30 *Pa*) والذي يتم الحصول عليه بعد إضافة المنفحة بساعة ، يزداد إلى حوالي 100 *Pa* ، بعد عدة ساعات يزداد معامل هلام لبن التخثر الحامض إلى حوالي 120 *Pa* بعد التخزين لعدة أيام .

تؤدي إعادة ترتيب الجزيئات (قبل تكون الهلام إلى زيادة في حجم القوالب البنائية للهلام a_{eff} ، وهذا تم توضيحه في شكل (23.3 *a*) للهلام الحامضي . تحت درجة 20 مئوية لا يحدث هذا الترتيب المعاد . ولكن يكون واسع الانتشار عند حرارة عالية . النتيجة النهائية ذات الأهمية التطبيقية هي أن حجم الثقوب في الهلام يزداد . إعادة الترتيب قصير الأجل أيضاً يحدث في هلام المنفحة ولكن بدرجة أقل (انظر جدول 3.8 حجم الثقوب يكون الأكبر) .

تأثير آخر لدرجة الحرارة تم توضيحه في شكل 23.3 *b* . وحالما تكون الهلام وطال عمره، يزداد معامله بانخفاض درجة الحرارة وبالعكس ، تكون هذه التغيرات عكسية . حرارة التكوين لها تأثير مشابه : معامل منخفض عند درجة حرارة عالية ولكن تأثيرات الوقت يمكن أن يربك العلاقات . بالإضافة إلى ذلك لا يتكون الهلام خلال وقت معقول عند درجة حرارة منخفضة (انظر تحت فصل 3.3.3.3) .

مراجع مقترحة Suggested Literature

تقريباً ، جميع الجوانب الأساسية تمت مناقشتها في هذا الباب :

P. Walstra, physical chemistry of foods, Dekker, New York, 2003.

جوانب كريات دهن اللبن تمت مناقشتها في .

P.F. Fox, Ed, Advanced Dairy chemistry, Vol. 2*:Lipids,* 2nd *ed. Chapman and Hall, London,* 1995*; chapter* 3 (*fat-globule synthesis*), *chapter* 4 (*physico chemical aspects*), *and chapter* 7 (*lipolysis*) *are especially relevant.*

لمزيد من الفهم ولكن ليست حديثة جزئياً ،

H. Mulder and P. Walstra, The Milk Fat Globule, Pudoc, Wageningen, 1974.

تحلل دهن اللبن تمت مناقشته في تقرير *IDF* ،

Flavour impairment of Milk and Milk products due to lipolysis, international Dairy Federation, Document 118*, Brussels,* 1980.

جسيمات الكازين تمت مناقشتها في ،

*P.F. Fox, Ed, Advanced Dairy chemistry, Vol.*1:
Proteins, 3*re ed, Kluwer Academic, New York,* 2003*, especially in chapter* 5 (*casein micelles*) *and chapter* 18 to *chapter* 22 (*stability*), *chapter* 27 *discusses interfacial properties of milk proteins.*

أساسيات تركيب جسيمات الكازين تم نشرها في مجلة علوم الألبان .

Casein Micelle structure: j.Dairy sci, 81 (11), 2873-3028, 1998, *and those of an* (*earlier*) *symposium on "Casein and Caseinates: Structures, Interactions, Networks" in : Int. Dairy J.g* (3-6), 161-418, 1999.

4 خواص اللبن *Milk Properties*

عدة خواص ، كيميائية وفيزيائية لمكونات وتركيب لمكونات وتركيب اللبن . التي نوقشت في بابي 2 و 3 . يمكن أن تؤثر هذه الخواص في عمليات تصنيع اللبن ونوعية منتجات اللبن السائل . وتمت مناقشة بعض الجوانب الهامة في هذا الباب .

1.4 خواص المحلول *Solution Properties*

اللبن مذيب جيد لكثير من المكونات ، شاملة أغلب الأملاح ، السكريات ، والبروتينات، وهذا راجع إلى أن ثابت العازل الكهربي مرتفع نسبياً ، حوالي 80 عند درجة حرارة 20 مئوية . والذي هو مماثل لما هو موجود في الماء ، وعلى ذلك يمكن اعتبار اللبن كمحلول مائي . تعطي المواد الذائبة في الماء للبن ضغطاً أسموزياً معيناً (حوالي 7 بار) .

وانخفاض لنقطة التجمد (حوالي 0.53 *K*) ، تكون الأيونات الموجودة مسئولة عن التوصيل الكهربي للبن . الحموضة حوالي 6.7 . النشاط المائي مرتفع حوالي 0.993 . ولا تمنع هذه الخواص الكائنات الدقيقة من النمو في اللبن . ويعتبر اللبن لكثير من الكائنات الدقيقة وسطاً مثالياً (حتى بالنسبة لتركيبه) بالرغم من ارتفاع ضغطه الأكسجيني .

تتراوح القوة الأيونية الكلية والتي نوقشت في تحت فصل 2.2.2 تبلغ 0.073 مولر ، في عينات بقرة مفردة لأغلب الأحزاء بين 0.067 و 0.080 . تؤثر القوة الأيونية على الطبقة المزدوجة الكهربية لطول ديباي *Debye length* $1/k$ التي تمت مناقشتها في تحت فصل 2.2.1.3 متوسط قيمتها في اللبن أو في مصل اللبن هو حوالي 1.1 نانومتر ، وبالتالي تكون التداخلات الإلكتروستاتيكية في اللبن عادة ذات أهمية قليلة لمسافات أكبر من حوالي 2.5 نانومتر .

تكون الأيونات المضـــــادة ثنائية التكافؤ (Ca^{2+}, Mg^{2+}) أنشـــط بحوالي 60 مرة من K^{+}, Na^{+} في إحداث تلبد للجزيئات شـــبه الغروية . ولذلك تكون موجودة في كميات صـــغيرة فقط ، Mg^{2+}, Ca^{2+} تكون ذات أهمية كبيرة . الكالســـيوم المأين له تأثير كبير في خواص الكازين وجسيماته . وبالتالي فإن نشاط أيون الكالسيوم $a_{Ca^{2+}}$ (تحت فصل 2.2.2) يكون مؤشراً أساسياً للبن والمنتجات اللبنية . تحدد تغيرات في تركيز السيترات التغير الطبيعي في $a_{Ca^{2+}}$.

يكون التوصـــيل الكهربي للبن حوالي $m^{1-}V^{1-}.A0.5$ (التغيير من 0.4 إلى 0.55) عند درجة 25 مئوية ، وهذا مناظر للتوصيل 0.25% (وزن/وزن) NaCl في الماء .

انخفاض نقطة التجمد ، الضـــغط الإسموزي ، ... الخ ، تســـمى الخواص المتجمعة *Colligative properties* ، المادة المذابة غير الأيونية والأيونات تحدد قوة هذه الخواص انخفاض نقطة التجمد لـــ 0.53 كلفن (والذي يعادل 0.90% محلول كلوريد صوديوم) تم حسابه من التركيز الكلي للمادة المذابة (0.28 محلول مول/لتر) . انخفاض نقطة تجمد الماء المولارية ($K1.86$ لواحد مول في واحد كيلوجرام ماء) ، متوســـط المعامل الإسموزي (0.93 للنوع الأيوني و1.00 للجزيئات المتعادلة) ، ومن حقيقة أن 11 مصـــل لبن يحتوي على حوالي 950 جرام من الماء، القيمة المحســوبة تناظر الانخفاض في نقطة التجميد المشـــاهدة بمتوســـط 0.53 كلفن والتي تتراوح بين 0.515-0.55 كلفن بين عينات اللبن .

تكون انخفاض نقطة تجمد اللبن ثابتة جداً (الانحراف القياسـي بين الحلبات الفردية حوالي 1%) وهي تكون متناســبة مع ضـــغطها الإسموزي ، والذي يســـاوي عادة ما هو موجود في الدم والذي يظل ثابتاً . الضـــغط الإسموزي للبن حوالي 7 بار عند درجة حرارة 20 مئوية ، من جدول 2.4 يتضـــح أن اللاكتوز له أعلى من نصـــف هذه القيمة ، مكملة بـــــ Na^{+}, K^{+} و Cl^{-} ، بالإضــافة إلى ذلك ، تم حســابها ارتفاع نقطة غليان اللبن بـــــ 0.15 كلفن من التركيز المولاري والنشاط المائي بـ 0.995 .

بعد تحميض اللبن ، يتغير محلول الملح بشكل كبير ، أولاً لأن فوسفات الكالسيوم شبه الغروية تتجه داخل المحلول (انظر شكل 7.2) ولكن أيضاً يسبب تفكك وانفصال الأملاح المختلفة . ويكون لذلك عدة نتائج . تزداد جميع الخواص التجميعية في القوة . فمثلاً تزداد انخفاض نقطة التجمد بحوالي 2 ميليكلفن لكل ميليمول من الحامض المضاف لكل لتر . وهذا يعني أن عند أس هيدروجيني 4.6 نقطة التجمد سوف يكون حوالي -0.63 درجة مئوية . سوف يزداد التوصيل الكهربي بحوالي $4A^{}V^{-1}m^{-1}$ لكل ميليمول من الحامض لكل لتر ، ويعني هذا زيادة قدرها $0.2A.V^{-1}m^{-1}$ عند أس هيدروجيني قدره 4.6 . سوف تزداد القوة الأيونية الكلية من 75 إلى حوالي 130 مليمول.لتر$^{-1}$ بتخفيض الأس الهيدروجيني إلى 4.6 .

2.4 الحموضة *A cidity*

يعبر عن الحموضة دائماً بالأس الهيدروجيني *pH* وحموضة جدول معايرة اللبن والمنتجات اللبنية هو السعة التنظيمية بين الحموضة الطبيعية (*Own pH*) و $pH = 8.3$ ودائماً ما يعبر عنها بـ $N^{\circ} \approx$ ميليمول هيدروكسيد الصوديوم L^{-1} للبن أو المنتجات اللبنية . $(N^{\circ} = mmol\ NaOH.L^{-1}milk)$

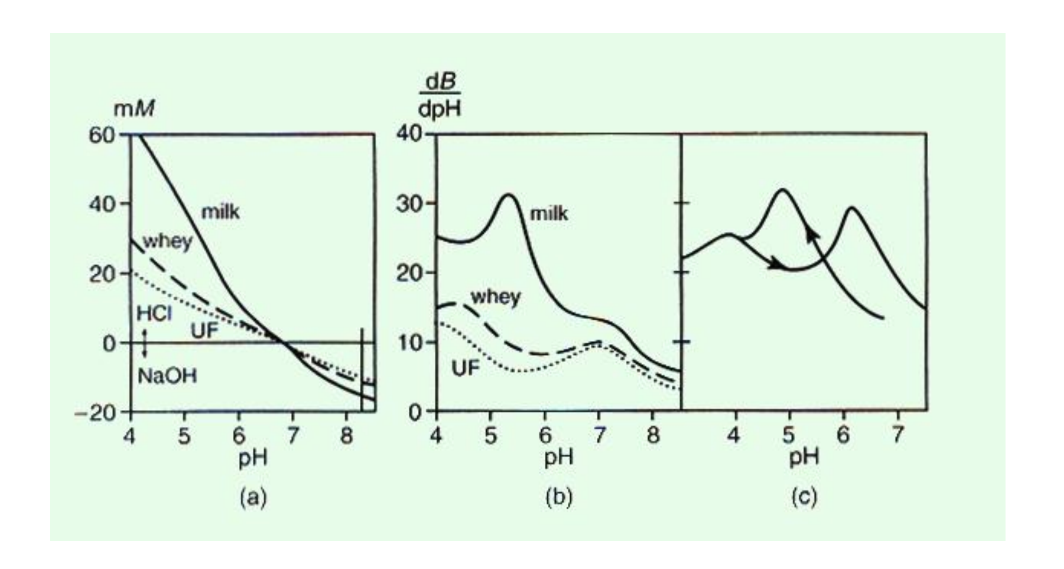
أمثلة لسعة المحلول المنظم *Buffering capacity* (dB/dpH) والمنحنى المعياري للبن موجود في شكل 1.4 الفوسفات والبروتينات تحدد أولوية التنظيم . قيمة *pk* للأحماض في اللبن ذكرت في تحت فصل 5.2.2 لمجموعات البروتين المتأينة في جدول 12.2 . الإسهامات التقريبية لمكونات اللبن هي كالتالي :

$N^{\circ}2.2$ لكل نسبة كازين وهكذا بمتوسط قدره	$N^{\circ}5.7$
$N^{\circ}1.4$ لكل نسبة بروتين المصل	$N^{\circ}0.9$
$N^{\circ}0.1$ لكل ميليمول فوسفات غير عضوية في المعلق	$N^{\circ}1.0$
$N^{\circ}0.7$ لكل ميليمول فوسفات غير عضوية ذائبة	$N^{\circ}7.8$

$1.5-2°N$ للمكونات الأخرى $N°1.7$

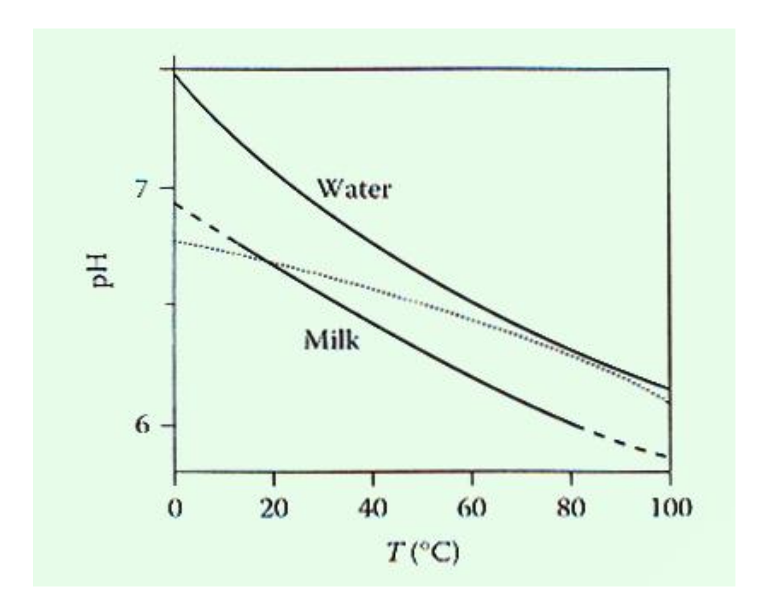
المتوسط الكلي $N°1.7$

حموضـــة جـدول معـايرة اللبن يعني بـالتحـديـد قيـاس كميـة حـامض اللاكتيـك المتكون في اللبن . ولكن في اللبن الطـازج ، الحموضـــة التي تمـت معـايرتها تتراوح بين 14 و 21 ، بمتوسط قدره $17°N$. وتميل إلى الارتفاع في وقت الحلب . وتزيد بمقدار $3°N$ عن المستوى السابق ذكره .



شـــكل 1.4 منحنيات المعايرة والقدرة المنظمة للبن ، الشـــرش الحلو ، واللبن فائق الترشـــيح معبراً عنها ميلي تكافؤ لتر-1 متوسطات تقريبية

Figure 4.1 Titration curves (a) and buffering index (b and c) of milk, sweet whey, and milk ultrafiltrate, all expressed in mmol per liter. In (c) milk is titrated at first to pH 3 and subsequently to high pH. Approximate examples. (Figures [a] and [b] are derived from data in P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984, and [c] is adapted from results by J.A. Lucey et al., *Milchwiss.*, **48,** 268, 1993.)



شـــكل 2.4 الأس الهيدروجيني للبن والماء كدالة لدرجة الحرارة ، الخط المنقط يشـــير إلى الأس الهيدروجيني عند درجة 20 مئوية ، لمصل اللبن المتحصل عليه بالترشيح الفائق في درجة الحرارة المذكورة ، القيم التقريبية

Figure 4.2 The pH of milk and water as a function of temperature. The dotted line refers to the pH at 20°C of milk serum obtained after ultrafiltration at the indicated temperature. Approximate values. (Adapted from P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chem- istry and Physics*, Wiley, New York, 1984.)

تتراوح حموضـــة معظم عينات اللبن بين 6.6 و 6.8 بمتوســـط قدره 6.7 عند درجة حرارة 20 درجـة مئويـة . وهـذا يعني أن نشـــاط أيون الهيـدروجيني H^+ يتراوح بين 0.16 و 0.25 ميكرومول- L^{-1} . حموضـة جدول المعايرة والأس الهيدروجيني يبديان علاقة ضـعيفة . ولكن عندما يبدأ إنتاج الحامض ، تزداد حموضـــة جدول المعايرة نســـبياً ، بينما ينقص الأس الهيدروجيني *pH* (شكل 2.4) حامض اللاكتيك يتحلل ، كبقية الأحماض العضوية الأخرى ، حتى ينخفض الـ *pH* تحت 5.5 . المعايرة تحت هذا الـ *pH* تأخذ حوالي كميات كمولارية متساوية من حامض اللاكتيك أو حـامض الهيـدروكلوريك (أنظر أيضـــاً شـــكل 1.7) . تكوين 0.1% حـامض اللاكتيـك

$(Da\ go = MW)$ يزيد نشاط حموضة جدول المعايرة بمقدار $90 / p^{20} = N^{\circ}11.4$ وعلى ذلك تقدم المعايرة طريقة سهلة لتتبع كمية حامض اللاكتيك المتكون . لاحظ أنه بالإضافة إلى حامض اللاكتيك ، الانحلال المكبوت *Repressed dissociation* لمجموعات الحامض ومجموعات القلوي المتحللة يمكن معايرته ، والأهم من ذلك أن الـــ *pH* يكون مقياساً له معنى يميز حموضة اللبن عن حموضة جدول المعايرة . فمثلاً ، *pH* يحدد شكل البروتين ونشاط الإنزيمات ، وانحلال الأحماض الموجودة في اللبن . تسبب الأحماض غير المتحللة طعماً حامضاً وتثبط نشاط الكائنات الدقيقة .

تعتمد حموضة اللبن *pH* على درجة الحرارة ، ويشاهد في الشكل 2.4 أن حموضة الماء أيضاً تنقص بزيادة درجة الحرارة ، ومع الأس الهيدروجيني المتعادل . يعتمد انحلال معظم المجموعات المتأينة على درجة الحرارة ، ولكن يتغير الاعتماد بصورة كبيرة . تأثير المعاملة الحرارية ، التبريد وبعض العمليات الأخرى على الحموضة نوقش في فصل 5.2.2 . تنقص حموضة جدول معايرة اللبن بالمعاملة الحرارية نتيجة نقص ثاني أكسيد الكربون ؛ وتزداد في درجة حرارة عالية جداً لتكوين الأحماض (شكل 1.7) .

تكون حموضة جدول معايرة القشدة أقل من اللبن لأن كريات الدهن تسهم بصعوبة في الحموضة . تكون السعة التنظيمية لمصل اللبن والشرش منخفضة عن اللبن ، كما يشاهد في شكل 1.4 .

يزيد تحلل الدهن *Lipolysis* (إنتاج الأحماض الدهنية إنزيمياً من الجليسريدات الثلاثية) من حموضة جدول المعايرة وخصوصاً زيادة قشدة الدهن . يخفض تحلل الإسترات (وبخاصة الإسترات الفسفورية *Phosphoric esters*) بالإنزيمات أيضاً الحموضة .

3.4 احتمالية الأكسدة– الاختزال ***Redox Potential***

احتمالية الأكســدة– الاختزال E_h لنظام الأكســدة–اختزال عند درجة حرارة 25 درجة مئوية يمكن حسابه من المعادلة :

$$E_h = E_o + 0.059n^{-1} \log[OX]/[\mathrm{Re}d](Volts) \ldots(1.4)$$

حيث E_o احتمال الأكســـدة–الاختزال القياســـي (مميزات كل نظام تعتمد على درجة الحرارة وخصــوصــاً على الحموضــة) ، n = عدد الإلكترونات لكل جزيء يدخل في عملية الأكســدة–اختزال ؛ $[OX],[\mathrm{Re}d]$= التركيز المولاري للمركب الداخل في أشكاله المؤكسدة والمختزلة خاصة .

المعادلة (1.4) تتحقق فقط للتفاعلات العكسية لــ $n = 1$ ، زيادة E_h بــ 0.1 فولت يعادل زيادة التركيز النسبي للشكل المؤكسد من 50%$(E_o = E_h)$ إلى 90% .

يوضح جدول 1.4 بعض أنظمة الأكسدة–الاختزال التي تحدث في اللبن . الإمكانية القياسية ليس العامل المحدد فقط لأن التركيز لكل نظام أكســـدة–اختزال موجود ، يحدد أيضـــاً إلى أي مدى يتأكسد أو يختزل نظام من احتمالات قياسية مختلفة . بالإضافة إلى ذلك ، يحدد التركيز حساسية E_h لإضافة مثل المؤكسدات–بمعنى آخر السعة الاتزانية *Poising capacity* .

في الأكسجين الحر للبن الطازج $E_b \approx +0.05V$ وتعتمد كلياً على الأسكوربات ، بغلي اللبن يدخل حامض الأسكوربيك في التفاعلات طبقاً لـ :

$$\text{L-ascorbic acid} \underset{}{\overset{-2H}{\rightleftharpoons}} \text{Dehydro-L-ascorbic acid} \xrightarrow{H_2O} \text{Diketo-L-gulonic acid}$$

L – حامض أسكوربيك
L-ascorbic acid: $O=C$–, $HO-C$, $HO-C$, $H-C$– (ring through O), $HO-C-H$, CH_2OH

L – حامض اسكوربك
Dehydro-L-ascorbic acid: $O=C$–, $O=C$, $O=C$, $H-C$– (ring through O), $HO-C-H$, CH_2OH

L – حامض حيلونيك ثنائي الكيتون
Diketo-L-gulonic acid: $O=C-OH$, $O=C$, $O=C$, $H-C-OH$, $HO-C-H$, CH_2OH

جدول 1.4 إمكانيات الأكسدة – الاختزال القياسية (E_o) لبعض أنظمة الأكسدة – الاختزال الهامة للبن ، وتركيزها في اللبن الطازج ($T = 25^{\circ}C$)

Table 4.1 Standard Redox Potentials (E_0) of Some Redox Systems Important for Milk and Their Concentration in Fresh Milk (T = 252)

التركيز ($\mu Eq.L-1$) Concentration	$E_0 atp\ H$ 6.7 (V)	n^a	Redox System نظام الأكسدة–الاختزال
~ 4^b	+0.77	1	Fe^{2+} / Fe^{3+}
< 0.5	+0.15	1	Cu^{+} / Cu^{2+}
310[c] - 180	+0.07	2	(Dehydro) ascorbate أسكوربات
14 - 4	–0.20	2	Riboflavin ريبوفلافين
(d)	–0.16	1	Lactate/pyruvate لاكتات/بيروفات
11^e	+0.02	2	methylene blue أزرق مثيلين

1. عدد الإلكترونات المنقولة لكل جزيء .
2. من المحتمل فقط عكسية جزئياً .
3. في اللبن المبستر عادة أقل من 50% من هذا التركيز .
4. غير عكسية في اللبن الطازج الفعل والتركيز يعتمد على البكتيريا .
5. التركيز في تجارب أزرق ميثلين المختزلة .

a. Number of electrons transferred per molecule.
b. Probably only partly reversible.
c. In pasteurized milk usually less than 50% of this concentration.
d. In fresh milk irreversible. Action and concentration depend on bacteria.
e. Concentration in the methylene blue reduction test.

يكون التفاعل الأخير غير عكسي ، ولكن يحدث فقط إذا كان الريبوفلاين والأكسجين موجودين ، وبذلك تكون E_h أعلى ، أي من +0.2 إلى +V0.3 وفي آخر الأمر يبقى ديهدروأسكوربات *Dehydroascorbate* فقط ، والذي يمكن أن يتحلل مائياً وبتسخين اللبن تتكون مجموعات الكبريت المهدرجة الحرة ***Free sulfhydryl groups*** (تحت فصل 1.2.2.7)

وتسبب هذه المجموعات انخفاضاً E_h بحوالي $V0.05$. نظام السيستين–سيستين لا يضيف إلى E_h لأنه غير عكسي عند الأس الهيدروجيني المتعادل .

فعل البكتيريا ، وبالذات المخمرة لحامض اللاكتيك ، تزيل الأكسجين من اللبن وتنتج مواد مختزلة . وتبعاً لذلك تقل إمكانية الأكسدة–الاختزال بحده ، وبالتالي قد تنخفض من 0.1 إلى V 0.2 حسب نوع البكتيريا المتواجدة ، وبهذه الطريقة يتحول أزرق الميثلين عند إضافته إلى شكل مختزل لا لون له ، ويمكن استخدام هذا التغير في اللون عند إضافة أزرق الميثلين لتقدير عدد البكتيريا المخمرة للاكتوز في اللبن .

4.4 النكهة *Flavor*

استقبال النكهة *Flavor Perception* معقدة للغاية ، حاستان كيميائيتان يمكن تمييزهما . التذوق والشم ، وهما حاستان لمركبات ذائبة في الماء والمركبات المتطايرة على التوالي . هذه المركبات يمكن تعريفها وتمييزها . ومن المعروف أن اتحاد التذوق والشم يؤدي إلى نكهة مميزة . يستخدم عادة استقبال النكهة منبهات أخرى بطريقة غير مفهومة جزئياً . يمكن أن يكون للإحساس الفمي والتركيب الفيزيائي للغذاء لهما تأثيرات معنوية .

التركيز الأدنى الذي يمكن استقباله لمركبات النكهة عادة ما تسمى بالقيمة الحدية *Threshold value* . وهي تختلف بصورة واسعة بين المركبات ، وتتراوح بين 10^3 و 10^{-4} مليجرام لكل كيلوجرام ، وهذا يعني أن بعض المركبات تعطي استقبالاً نكهياً حتى لو كانت موجودة بكميات قليلة . يمكن أيضاً أن تعتمد القيمة الحدية لمركب على المادة الموجودة . فمثلاً ، الحد المسجل لكيتون إيثيل ميثيل هو 3 مليجرام لكل كيلوجرام من الماء ، 80 مليجرام لكل كيلوجرام في اللبن ، و20 مليجرام لكل كيلوجرام في الزيت . يمكن أن يكون الاختلاف بين الماء واللبن جزئياً راجعاً إلى ترابط الكيتون مع بروتينات

اللبن ، وعلى ذلك يكون تركيزها الفعال منخفضاً (وعلى وجه الدقة نشاطها الديناميكي الحراري *Its thermodynamic activity*) .

أغلب مركبات النكهة المتطايرة تكون كارهة للماء ، وعادة ما تكون مرافقة للبروتينات ، وبذلك تؤدي إلى خفض الاستقبال النكهي . ومن الواضح أيضاً أن المواد التي تسبب نكهة قوية تحجب أو تستر استقبال نكهات ضعيفة . بالإضافة إلى ذلك مادة تعطي نكهة مقبولة *Pleasant flavor* عندما توجد بتركيزات منخفضة ، عادة ما تسبب إحساساً غير مقبول *Un pleasant sensation* إذا كان الغذاء يحتوي على كميات كبيرة . إلا أن كل ذلك يعتمد على ملاحظات فردية ، لأن الاستقبال يكون بطبيعته شخصياً صرفاً . تختلف الحساسية لمادة معينة معنوياً بين الأفراد . بالإضافة إلى ذلك يعتمد استقبال النكهة معنوياً على خبرة الشخص لأطعمة مختلفة ، وعلى الظروف الموجودة أثناء تقييم النكهة .

يجب أن تقيم النتائج المقدمة عن نكهة الطعام بكل حرص وعناية . ومع ذلك تم الحصول على كم كبير من المعلومات الهامة ، وخاصة عن النكهات المختلفة غير المرغوب فيها ، أي تعريف المركبات المسئولة وأسباب تواجدها .

ملاحظة أخرى هامة هي : في جميع الحالات تقريباً ، عدد كبير من المركبات المسئولة عن الإحساس بالنكهة ، خاصة إذا كان تذوق الملاحظ للطعام جيداً ، بمعنى آخر يكون "توازن محتويات النكهة" غالباً مطلوبة ومفضلة .

مركبات النكهة الرئيسية الموجودة في اللبن هي اللاكتوز والأملاح الذائبة التي تسبب الطعم الحلو والمالح على التوالي . الطعم الحلو يسود ، بينما الطعم المالح يغلب إذا كانت نسبة الكلور/اللاكتوز عالية ، كما في لبن التهاب الضرع . يجب أن تحتوي كريات الدهن أيضاً على مركبات النكهة ، حيث أن لبن الفرز واللبن يختلفان كلياً في النكهة ، وهذه تكون مسئولة عن النكهة الغنية "*Rich*" ولهذا فإن اللبن المحتوي على كمية كبيرة من المادة الجافة الخالية من الدهن يسرع هذا الطعم القشدي الغني "*richness*" . بعض مركبات النكهة من الدهن يتم مناقشتها في تحت فصل 1.1.2 .

مركبات أخرى تشمل ثنائي ميثيل السلفيد *Dimethyl sulphide* ، وثنائي أسيتيل 2-ميثيل بيتانول-1 *diacetyl,2- methylbutanal* وبعض الألدهيدات ، تكون مسئولة عن النكهة المميزة للبن الخام الطازج ، اللبن له نكهة مميزة ضـعيفة . يمكن أن تكون الدراسـات السـابقة بهذا الخصـوص محيرة . لأن النكهة غير المرغوبة تكون ضـعيفة التحديد وعادة المواد المسـببة للنكهة غير المرغوبة غير معروفة جيداً .

يمكن أن يكون للبن الطازج نكهة غير مرغوبة من العلف . تدخل المركبات المسـببة لهذه النكهة للبن من خلال البقرة ، الهواء ، أو عن الطريقين معاً ، ومثال ذلك نكهة البرسـيم والثوم . إذا كانت البقرة تعاني من مرض الكيتوزية (زيادة الكيتونات في الجسـم شـاملة الأسـيتون) الذي يسـببه العلف قليل البروتين ، حيث توجد في اللبن تركيزات عالية من الكيتونات . وبالتالي يظهر نكهة البقر ، التسـخين تحت تفريغ يمكن أن يزيل جزءاً من هذه المركبات المسببة للنكهة إذا كانت محبة للماء . تكون إزالة كثير من المركبات الذائبة في الدهن أصـعب بكثير . يؤدي التغذية على القش أو التبن أو البرسـيم المخفف إلى وجود الكومارين في اللبن ، ليسـت هذه النكهة دائماً غير مقبولة .

إن فسـاد اللبن وخاصـة الفسـاد الميكروبي ، يمكن أن ينتج عيوباً في النكهة . العيوب يمكن أن يشـار إليها كحامض *Acid* غير نظيف *Unclear* ، طعم الفاكهة *Fruity* طعم الإسـتر *Ester* ، طعم الشـعير *Malty* ، الطعم المحروق *Burnt* ، طعم فينولي *Phenolic* ، طعم مر *Bitter* ، نكهة التزنخ *Rancid flavors* . يشـمل الفسـاد الإنزيمي تحلل الدهن ، الأكسـدة الذاتية للدهن سـببها التأثير المحفز للنحاس عادة ما تؤدي إلى نكهة شـحمية *Tallowy* تحت فصـل 5.3.2 . في اللبن ، رائحة الكرتون تحدث أيضـاً ، والتي تنتج عن الأكسـدة الذاتية للفوسـفوليبيدات ، ويمكن أن تلاحظ في اللبن الفرز أيضـاً . تظهر الليبيدات الفوسـفورية في البلازما أنها تؤكسـد بسـرعة ، في لبن زبدة القشـدة المر *Sour-cream buttermilk* ، وهذا سـوف يؤدي إلى نكهة معدنية إذا كان العيب ضعيفاً وإلى نكهة حادة إذا كان العيب قوياً .

ويمكن أيضاً إحداث عيوب النكهة في اللبن بواسطة الضوء ، وعادة ضوء الشمس المباشر لمدة 10 دقائق أو الضوء العادي المنتشر لأوقات أطول ، أو الضوء من المصابيح الفلوريسينية تكفي لإحداث النكهة . النكهة الشـــحمية *Tallowy* لا تتكون في الحال ، ولكن تتكون فقط بعد وقت ، ويمكن أن تنتج عن الأكسـدة الذاتية التي تحفز بالضـوء ولكن بالتعرض للضـوء ، يمكن أن تتكون مواد نكهة إضافية في اللبن ، يتطلب تكون هذه النكهات "***Sunlight flavor***" ريبوفلافين (فيتامين B_2) . أكسـدة الميثونين الحر تعطي الميثيونال ***Methional*** ($CH_3.S.CH_2.CH_2.CHO$) ، بينما تتكون المركبات الحرة المحتوية على مجموعة الكبريت المهدرج من البروتين المرتبط بالكبريت المحتوي على أحماض أمينية . تسبب كل هذه المركبات معاً نكهة ضوء الشمس .

تســـبب معاملة الحرارة المعتدلة للبن (75 درجة مئوية لمدة 20 ثانية) اختفاء نكهة اللبن الخام وظهور النكهة العادية للبن . تؤدي المعاملة الحرارية العالية (80-100 درجة مئوية لمدة 20 ثانية) إلى نكهة مطبوخة ***Cooked flavor*** يســـببها غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S . تنتج نكهة التعقيم ***Sterilization flavor*** للبن المعامل بحرارة عالية (115 درجة مئوية لمدة عشـر دقائق) عن المـالتول ، مركبـات الفبرانون (المتكون من اللاكتوز) وميثيـل كيتونـات الأليفـاتيـة واللاكتونـات ***Lactones*** .

تظهر بعض الأحماض الدهنية بالتسـخين تفاعلات كيميائية ، أعطت بقايا ثلاث أحماض كيتونية 4–ميثيل كيتونات ، وأحماض دهنية 5–هيدروكســـي أعطت δ و α لاكتونات على الترتيب . تكون هذه المركبات موجودة في اللبن الطازج وتكون مســـئولة عن النكهة المميزة لدهن اللبن . تســـبب الكميات الكبيرة التي يمكن أن تنتج من المعاملات الحرارية أو أثناء التخزين لفترة طويلة للبن المجفف نكهة غير طبيعية . وباسـتمرار التسـخين لدرجة أعلى (150 درجة مئوية) بتغير وضـع جزء من الروابط المزدوجة وينتقل بعضـها من الوضـع ***cis*** إلى الوضـع ***tras*** . تحدث عملية تكون الإســـتر الداخلية ***Interesterification*** (أو تبادل بقايا الأحماض الدهنية بين أماكنها في جزيء الجليسريدات الثلاثية) أيضاً .

الروابط المزدوجة في الحامض الدهني أو بقايا الحامض الدهني يمكن أكسـدتها من نواتج الأكسـدة التي يتم الحصـول عليها تسـبب بعض المركبات التي تنتج بتركيزات قليلة نكهات غير مرغوبة ، وتشمل تشحم *Tallowy* وطعم الدهن *Fatty* ونكهة السمك *Fishy* والرائحة المعدنية *Metallic* ورائحة الكرتون *Cardboaid-like* وقد تسبب النكهة غير المرغوب فيها مشاكل في المشروبات اللبنية وفي لبن الزبدة القشدي الحامضي والقشدة ، وخصوصاً المنتجات عالية الدهن التي تحفظ لمدة طويلة مثل الزبدة ، وبودرة اللبن كامل الدسم . والتفاعلات التي قد تحدث عادة ما تكون غاية في التعقيد .

5.4 الكثافة *Density*

كثافة الكتلة أو كتلة الحجم هي الكتلة لكل وحدة حجم . ويعبر عنها بالكليوجرام . متر$^{-3}$ (وحدات *SI*) أو جرام . ميليلتر$^{-1}$ (وحدات *c.g.s*) ؛ 1 جرام . ميليلتر$^{-1}$ = 1000 كيلوجرام . متر$^{-3}$ ورمزها هو *p* أو *d* ويجب أن نفرق بين الكثافة والكثافة النوعية (*s.g*) أي وزن حجم المادة مقسوماً على وزن حجم مساوٍ من الماء . وبذلك تكون الكثافة النوعية $P(T_1)/P_{water}(T_2)=(T_1/T_2)s.g$ لأن $1=(4^{\circ}c)P_{water}$ جرام.ميللتر$^{-1}$ و $(T)P=(T_1/T_2)s.g$ بالجرام.ميللتر$^{-1}$ إذا كانت $T_1=T$ و $4=T_2$ درجة مئوية .

فمثلاً $P^{20}=(20/4)s.g$ وعليه لا تشبه *s.g* ، تعتمد *P* على درجة الحرارة *T* . تم عرض القيم العددية في الفهرس الجدول *10.A* . تعتمد كثافة مخلوط *Mixture* من المكونات *Components* مثل الموجودة في اللبن على المحتويات *Composition* ويمكن أن نستنتج من المحتويات طبقاً للمعادلة :

$$\frac{1}{P}=\sum\left(\frac{m_x}{P_x}\right)$$

حيث mx هي كتلة كســـر المكونات x و P_x الكثافة الظاهرية في المخلوط قيمة 998.2 كيلوجرام.متر$^{-3}$ يمكن أن تؤخذ من P^{20} للماء ، حوالي 918 للدهن وحوالي 1400 للبروتين وحوالي 1780 للاكتوز وحوالي 1850 للمكونات المتبقية (= الرماد + 0.3%) للبن .

كل هذه القيم هي الكثافات الظاهرية في المحلول المائي ، وليســـت كثافات المكونات في الحالة الجافة (ماعدا الدهن) . لأن الانحلال خاصـــة للمكونات ذات الكتلة المولارية المنخفضـــة تسبب الانكماش . كثافة اللبن متغيرة . P^{20} تكون للبن الكامل الطازج حوالي 1030 كيلوجرام . متر$^{-3}$ ($kg.m^{3-}$) إذا كان الدهن سـائلاً بالكامل . وبالتبريد ، يتصـلب الدهن كما في تحت فصـل 2.5.3.2 عادة ببطء ، ويســـبب هذا زيادة في كثافة اللبن بمقدار 1.2 كيلوجرام.متر$^{-3}$ تقريباً عند درجة 10 مئوية ، توجد بعض البيانات الإضافية في الفهرس ، جدول *10.A* .

تزداد كثافة اللبن إذا زاد محتوى الأجســـام الصـــلبة وليس الدهن ، ولكنها تقل إذا زاد المحتوى الدهني من الكثافة والمحتوى الدهني . يمكن حساب محتوى المادة الصلبة تقريباً إذا كان دهن $P = 917$ كيلوجرام . متر$^{-3}$ و للمادة الصـــلبة ماعدا الدهن $P = 1622$ كيلوجرام . متر$^{-3}$ وللماء $P = 998$ كيلوجرام . متر$^{-3}$ فإن ذلك يؤدي إلى :

$$D = 1.23F + \frac{260(P^{20} - 998)}{P^{20}} \pm 0.25$$

حيث أن F, D هما المحتوى من المواد الصـــلبة والدهن في اللبن (بنســـبة وزن/وزن) على الترتيب ، ويشـــير الانحراف القياســـي إلى التغيرات بين عينات لبن الأبقار المنفردة *Individual Cow Samples* .

6.4 الخواص الضوئية *Optical Properties*

يعرف معامل الانكسار n لسائل شفاف بأنه نسبة سرعة الضوء في الهواء إلى سرعته في هذا الســائل ، ويعتمد على طول موجة الضـــوء وتقل بزيادة درجة الحركة ، وتقاس عادة عند طول موجي قدره 589.3 نانومتر ودرجة 20 مئوية .

تم تعيين معامل انكســار اللبن (حوالي 1.338) بواسـطة معامل انكسـار الماء (1.3330) والمواد الذائبة . الجسيمات أكبر منه بحوالي 0.1 نانومتر ولا تسـهم في n . وبالتالي لا تسـهم كريات

الـدهن ، فقـاعـات الهواء ، أو بلورات اللاكتوز في معـامـل انكســـار اللبن والمنتجـات اللبنية . مع أنها يمكن أن تعوق عملية تعيين n ، بواسطة العكارة التي تسببها ، جسيمات الكازين مع أن كثيراً منها أكبر من 0.1 ميكرومتر ، لا تسهم في n لأنها لا تكون غير متجانسة (تتكون من بلوكات بنائية أصغر) وليس لها حدود حادة .

الفرق بين n للماء وسائل مائي يتم حسابها بواسطة :

$$n(solution - n(water) = \Delta n = P\sum m_i \Gamma_i \qquad (4.4)$$

حيث P هي الكثافة النســبية للمحلول ، و m هي الكســر الحجمي للمذاب ، وr هي زيادة الانكسار النسبي ، المعادلة ليست دقيقة لأن إسهامات المكونات المختلفة (i) ليس دائماً بالتحديد جمعية قيم r (عند 589.3 نانومتر و20 درجة مئوية) تكون بالمليلتر/جرام (والتي يفهم ضـمناً أن P يجب أن تكون بالجرام/مليمتر) :

جسيمات الكازين ، 0.207 (جرام كازين) .

بروتينات المصل ، 0.187 .

لاكتوز ، 0.140 .

محتويات لبنية ذائبة أخرى ، 0.170 .

سكروز ، 0.141 .

يمكن بهذه البيانات حساب معامل انكسار المنتجات اللبنية وتقديرها . عندما يكون اللبن المركز أو ســائل آخر بواســطة التبخير ، تزداد $\Delta n / p$ بالنســبة لمعامل التركيز . وحيث أن n يمكن تعيينه بسهولة وسرعة وبدقة (الانحراف المعياري 10^{-4}) وهو معيارنا مع الاختبار .

التغيرات في المكونات ، مثل الجوامد وليس المحتوى الدهني .

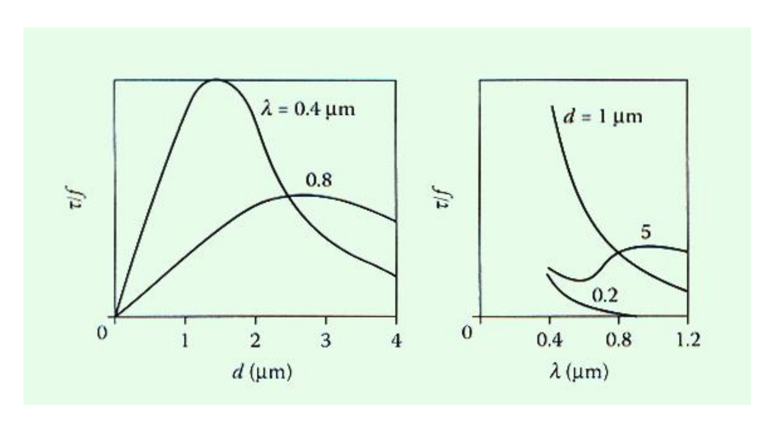
إن تشـتت الضـوء تسببه جزيئات يختلف معامل انكسـارها عن تلك الموجودة في الوسـط المحيط . فمثلاً البلازما/ كريات الدهن $n = 1.084$.

يعطي شـكل 19.3 بعض الأمثلة لتشـتـت الضـوء تسـببها كريات الدهن . ولأن كريات الدهن في عينة واحدة من اللبن تختلف اختلافاً هاماً في الحجم ، فيجب حساب متوسط المنحنيات

. من نتائج مثل المقدمة في شـــكل 19.3 حجم الجزيء أو محتوى الدهن يمكن أن يســـتنتج من خلال قياسات العكارة في عينة مخففة للغاية . تشتت جسيمات الكازين أيضاً الضوء ولكن بصورة أقل مما تفعله كريات الدهن ، ذلك لأنها تكون أصـغر في الحجم وغير متجانســة ؛ بالإضــافة إلى ذلك يكون الاختلاف في معامل الانكسار في المحلول إلى حد ما أصغر .

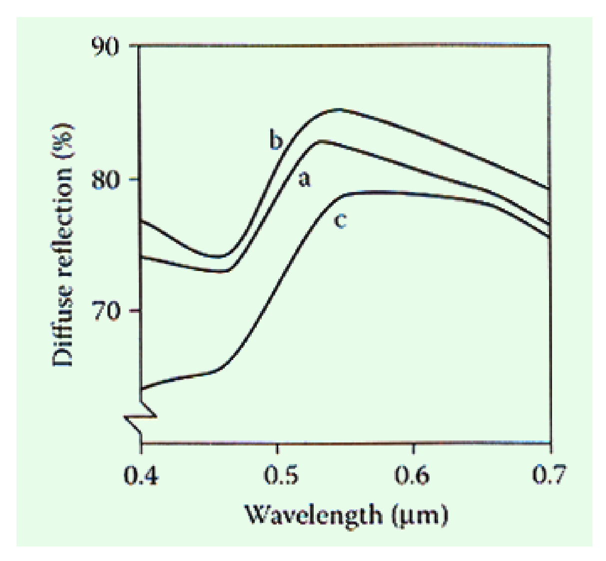
في الأشعة فوق البنفسجية ، البلازما وكذلك الدهن (روابط مزدوجة) تمتص بقوة الضوء ، خاصـــة لأطوال موجات أقل من 300 نانومتر ، في تحت الحمراء القريبة يحدث امتصـــاص قوي لشـرائط الماء *Water absorptions bands* ولكن هناك أيضــاً امتصــاص لبعض الشـرائط التي يمكن استخدامها لتقدير محتوى الدهن والبروتين واللاكتوز في اللبن .

لون مواد معتمة عادة هو نتيجة تشـتت وامتصــاص الضـوء المرئي . اللبن المنزوع الدســم امتصـاصـه للضـوء قليل ، يكون لونه مزرقاً ، لأن جسـيمات الكازين الصـغيرة تبعثر الضـوء الأزرق (طول موجي قصـــير) أكثر قوة من اللون الأحمر (انظر شـــكل 3.4 للجزيئات 0.2 ميكرومتر) .



شكل 3.4 تشتت الضوء بواسطة كريات الدهن ، العكارة الكلية (τ) لكل لنسبة الدهن (f) كدالة لقطر كرية الدهن (d) وطول الموجة (λ) يجب أن يكون للكريات حجم منتظم والمستحلب مخفف للغاية

Figure 4.3 Light scattering by milk fat globules. Total turbidity (-r) per percentage of fat (*f*) as a function of globule diameter (*d*) and wavelength (*A*). Globules should be of uniform size and the dispersion highly dilute



شكل 4.4 طيف الفكاس منتشر للبن متجانس (*a*) غير مسـخن (*b*) مسـخن لمدة 30 ثانية عند درجة 130 مئوية (*c*) مسخن لمدة 40 دقيقة عند 115 درجة مئوية ، يعبر عن الشدة كنسبة الانعكاس لمادة قياسية نقية بيضاء

Figure 4.4 Diffuse reflection spectra of homogenized milk. (a) Unheated; (b) heated for 30 s at 130°C; (c) heated for 40 min at liSoC. The intensity is given as a percentage of the reflection of a purely white reference material. (Courtesy of H. Radema, Netherlands Institute for Dairy Research.)

مصل اللبن والشرش تبدو مصغرة بعض الشيء نتيجة وجود الريبوفلافين . تمتص هذه المادة الضوء ذو الطول الموجي القصـــير ، ولكن تركيزه في اللبن يبلغ 1.5 مليجرام لكل لتر فقط وهو منخفض حداً لكي يمنح اللبن اللون . يشـــتت اللبن ضـــوءاً كثيراً نتيجة وجود كريات دهن ، لا يعتمد هذا التشـتت بقوة على طول الموجة . وعلى ذلك لا يكون اللبن مزرقاً ، بالإضـافة إلى ذلك دهن اللبن له لون أصفر .

نتيجة لوجود البيتاكاروتين عند طول موجي قدره 0.46 ميكرومتر . يمكن أن يعطي دهن اللبن امتصـاصية قدرها 0.3 في واحد مليمتر خلية ضوئية . إلا أن محتوى اللبن من الكاروتين يتغير بشكل واسع .

يمكن أن تقدم نتائج كمية بواسطة طيف انعكاس منتشر ، عندما تضاء عينة من اللبن بضوء أبيض ، فإنها تخترق اللبن ، وتفرق بواسطة الجزيئات الموجودة ، ويمكن أن تفقد الشدة بواسطة الامتصاص ، يترك أغلب الضوء اللبن ثانية ، ويمكن قياس شدته كدالة على طول الموجة λ . يقدم شكل 4.4 بعض الأمثلة . يظهر اللبن المجنس غير الساخن طيفاً حيث يكون الانكسار عالياً ولا يعتمد كثيراً على طول الموجة ، ويعني هذا أن العينة تظهر بيضاء (حتى أكثر بياضاً من اللبن غير المجنس) هناك انخفاض ضعيف في المنحنى عند طول موجي يساوي 0.46 ميكرومتر ، بدون شك نتيجة لوجود الكاروتين في كريات الدهن ، وينتج عن ذلك لون كريمي ضعيف . تسبب معاملة حرارية متوسطة الشدة زيادة الانعكاس عند جميع الأطوال الموجية ، نتيجة مسخ (دنترة) بروتين المصل وتجمعه ، والذي يزيد من عدد الجزيئات المشتتة . ويعني هذا أن اللبن قد أصبح أكثر بياضاً قليلاً . تسبب المعاملة الحرارية الشديدة نقص الانعكاس معنوياً عند أطول موجة قصيرة ، وتؤدي إلى ظهور اللون البني . ويرجع ذلك إلى تكوين الأصباغ بواسطة تفاعل ميللارد (انظر تحت فصل 3.2.7) .

7.4 اللزوجة *Viscosity*

هذا الفصل عن خواص اللبن والمنتجات اللبنية اللزجة . سوف تتم مناقشة بعض الأساسيات في علم الريولوجي للقراء الذين ليس لديهم إلمام كافٍ بها .

1.7.4 بعض الخواص الريولوجية للسائل *Some Fluid Rheology*

يمكن انسياب السائل بإحداث ضغط عليه . يساوي الضغط 6 القوة على المساحة ، الوحدات $Pa = N / m^2$. التدفق أو السريان يتميز بواسطة معدل لزوجة (أو معدل شير *Shear rate*) dv / dx . ويعني هذا أن سرعة السريان v تتغير في الاتجاه x ، عادة عمودية على اتجاه السريان . تتحدد العلاقة بين الخاصيتين بواسطة المعادلة :

$$\sigma = \eta \frac{dv}{dx} \quad (4.5)$$

حيث عامل التناسب η يسمى اللزوجة ، وهذا موضح في شكل 5.4 a المنحنى 1 و 2 حيث لزوجة 1 أصغر من لزوجة 2 .

اللزوجة هي خواص مادة ، للماء عند درجة 20 مئوية $\eta = S\,Paml$ وتقل بصورة ملموسة بزيادة درجة الحرارة (انظر الفهرس ، جدول 10.A) .

تزيد اللزوجة إذا أضيفت مواد أخرى للماء ، سكر ، بوليمرات (مثل زانثين) ، أو جزيئات مثل كريات الدهن . طبقاً لأنشتين ***Einstein*** فالعلاقة تكون :

$$\eta = \eta_S(1 + 2.5\varphi) \qquad (4.6)$$

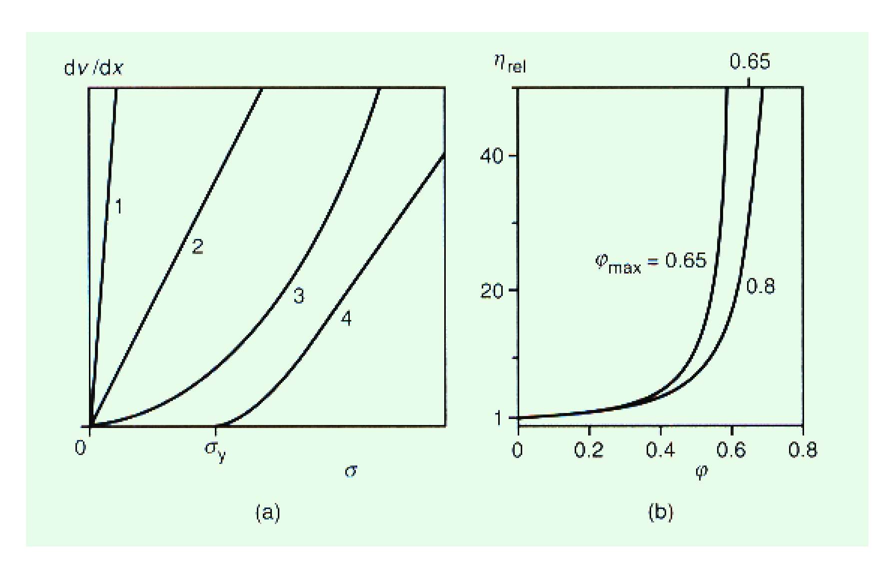
إذا كان كسر الحجم φ صغيراً جداً < 0.01 . η_s هي لزوجة المذيب ، في هذه الحالة الماء والنسبة η / η_S تسمى اللزوجة النسبية η_{rel} لاحظ أن حجم الجزيء ليس متغيراً .

لقيم φ العالية ، فإن ذلك يتطلب علاقات معقدة . للجزيئات الكروية الصلبة معادلة كريجير-دوجهيرتي ***Krieger-Dougherty*** غالباً ما تستخدم ، والتي تقرأ :

$$\eta = \eta_S(1 - \varphi / \varphi_{\max})^{-2.5\varphi_{\max}} \qquad (4.7)$$

حيث $\varphi_{\max}$ هي كسر الحجم الأعلى الذي تم الحصول عليه عند $\varphi = \varphi_{\max}$ ، وسوف تزداد اللزوجة إلى ما لانهاية . للكريات ذات الانتشار الأحادي ***Monodisparse*** ، $\varphi_{\max}$ هي حوالي 0.7 ، للجزيئات المختلفة الحجم ، يمكن أن تكون قيمتها أعلى معنوياً أي 0.8 أو حتى أكبر ، لأن الجزيئات الصغيرة (مثل جسيمات الكازين) يمكن أن يطابق داخل الفتحات المتروكة بين الجزيئات الكبيرة مثل كريات الدهن . تم عرض بعض الأمثلة المحسوبة في شكل 5.4 b . من الملاحظ أن إضافة كمية من مادة ناشرة عند φ منخفضة تعطي زيادة صغيرة في اللزوجة عن كمية المادة المضافة عند φ عالية .

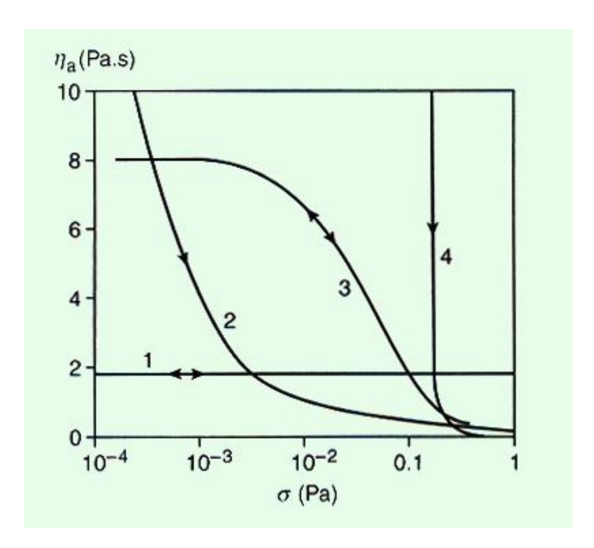
إذا كانت أنواع كثيرة من الجزيئات موجودة ، فإن أنواعاً مختلفة من η_{rel} يمكن أن تؤخذ ، اعتماداً على ماهية المذيب المستخدم مثلاً للبن والقشدة η_S يمكن أن تكون بلازما اللبن أي بدون جسيمات كازين ، أو ترشيح فائق (أي بدون بروتين ذائب) . يجب أن نلاحظ أن قيمة φ أعلى من القيمة الصافية ***Net value*** .



شكل 5.4 اللزوجة (a) أمثلة لمنحنيات السريان : درجة ميل اللزوجة dv/dx كدالة للضغط (الشير) (6) المستخدم (b) اللزوجة النسبية (η_{rel}) كدالة لكسر الحجم (φ) المحسوبة لقيمتين من φ_{max}

Figure 4.5 Viscosity. (a) Examples of flow curves: velocity gradient (d*v*/d*x*) as a function of (shear) stress (σ) applied. (b) Relative viscosity (η_{rel}) as a function of volume fraction (φ) calculated for two values of φ_{max}

إذا كانت الجزيئات متباينة الحجم ، فإن $\varphi_{net} < \varphi_{eff}$ وتزداد القيمة كلما زاد التباين في الحجم . ولكن يتم التأكد فإن المعادلة 4.6 لا يمكن تطبيقها ، ولكن يمكن أن تحور لكي تناسب النتائج ، ويبقى الاتجاه هو نفسه وينطبق ذلك أيضاً على الجزيئات ذات السطح غير المنتظم (انظر شكل 7.9) ، تزداد φ بصورة ملموسة ، قيمة φ_{eff} يمكن أن تكون عالية للجزيئات المتجمعة لأن هذه تجمع كمية كبيرة من المذيب غير المتحرك (شكل 8.3) . تكون العلاقات مختلفة للمواد عديدة الأشكال ولا يمكن تطبيق المعادلة 7.4 ويكفي أن نقول أن البوليمرات ذات شكل ملف عشوائي تسبب زيادة عالية في اللزوجة لكل وحدة كتلة ، حيث تزداد الزيادة مع زيادة درجة البلمرة (سلاسل طويلة) .



شـــكـل 6.4 اللزوجة الظاهرة (η_a) كدالة عن ضـــغط الشـــير (σ) المســـتخدم ، المنحنى 1 ســـلوك نيوتوني Newtonian behavior ، المنحنى 2 ,3 معدل الشير ، منحنى 4 مادة منتجة للضغط الأسهم توضح في أي اتجاه يتغير الضغط

Figure 4.6 Apparent viscosity (η_a) as a function of shear stress (σ) applied. Curve 1: Newtonian behavior. Curves 2 and 3: shear rate thinning. Curve 4: material with a yield stress. The arrows indicate in what direction the stress is changed

بالإضـــافة إلى ذلك اعتبرنا الســـوائل النيوتونية ***Newtonian liquid*** ســـوائل لا تعتمد لزوجتها على ضغط الشير ***Shear stress*** أو درجات اللزوجة . تسلك جميع المحاليل ذات المكون الواحد ***One-component liquids*** هذا المسـلك . إلا أن كثير من الســوائل الأخرى تكون غير نيوتونيـة ***Non-Newtonian*** مثـال ذلـك منحنى 3 في جـدول 5.4 ***a*** : حيـث تقـل اللزوجـة . $\frac{\text{الضغط}}{\text{معدل الشير}}$ بزيادة الضغط (أو زيادة معدل الشير) . يسمى مثل هذا السائل شير (معدل) مرقق القوام ***shear thinning*** له لزوجة ظاهرية η_a تعتمد على قيمة ضـــغط الشـــير أو معدل الشـــير (درجات لزوجة ***velocity gradient***) ويمثل ذلك بالمنحنى 2 في شكل 6.4 .

وضـــح آخر يمثله المنحنى 4 في شـــكل 5.4 *a* . في هذه الحالة ، المادة لن تنســـاب إذا استخدم ضغط ضعيف ، وسوف يتشوه ولكن التشوه يكون مرناً ويعني هذا أن المادة سوف ترجع إلى شكلها الطبيعي عند زوال الضغط ، وعند زيادة الضغط إلى حد يسمى ضغط الخضوع *yield stress* σ_y ، تبدأ المادة في الانســياب ، ويصـــبح ســلوكها بزيادة الضـــغط مرفقاً قواماً معتدلاً *Shear rate thinning* .

شكل 6.4 (منحنى) يظهر سائل نيوتوني عالي اللزوجة (جلسرول نقي) $\eta = 1730\eta_{water}$ وثلاثة أمثلة من سلوك الانسياب غير النيوتوني ، يمكن أن يشـرح المنحنى 2 بواسـطة قوي جذب ضغيفة بين جزيئات صغيرة . ليس المنحنى منعكساً في الحال : تتكسر بزيادة الضغط روابط عديدة بين الجزيئات ، وتحتاج هذه الروابط لبعض الوقت لتتكون من جديد (انظر 1.3.1.3) . يمثل هذا المنحنى عينة قديمة من اللبن المبخر . منحنى 3 هو المثال النموذجي لمحلول عديد التســكر 0.25% زانثان ، يستخدم عامل مغلظ القوام في بعض المنتجات اللبنية . ويلاحظ أنه يكون سـائلاً نيوتونياً عند ضـــغط منخفض جداً ومرقق معدل الشـــير عند ضـــغوط عالية $\sigma > 10 P_a$ وهذه مرة أخرى نيوتونية ولكن عند لزوجة منخفضة . يكون هذا السلوك الانسيابي منعكساً وشرح ذلك في منتهى التعقيد . يمثل المنحنى 4 ســائلاً بضـغط الخضــوع *yield stress* . تكون هنا جزيئات صـغيرة أو مخلوط من عديدات التسـكر شـبكة (ضـعيفة) والتي يحدث لها شـروح عند ضـغط الخضــوع . ولا يكون هذا السـلوك منعكسـاً في الحال *Immediately reversible* . إذا كان منعكسـاً فسـوف يحتاج إلى 15 دقيقة للهلام الضـعيف لاسـتعادة تكوينه . ويتم الحصـول على مثل هذه المنحنيات عندما تضـيف كمية صـغيرة من 10 إلى 50 مليجرام لكل لتر من *k*– أراجينان *k-carrageenan* إلى اللبن ، الكازاجينان والكازين (جسيمات) يكونان معاً شبكة ضعيفة .

يوضح شكل 6.4 معدلاً من ضغوط صغيرة جداً . بسكال واحد هو الضغط الذي يحدثه تحت الجاذبية عمود من الماء ارتفاعه 0.1 مليمتر . إذا كان للســائل ضـــغط خضـــوع قدره واحد بسـكال ، فإن وجوده سـوف لا يلاحظ في التطبيق . إذا صـب السـائل من عبوة ، فإن الضـغط

المؤثر سوف يكون دائماً أكبر من واحد بسكال ، إلا أن ضغوطاً صغيرة جداً يمكن أن تحدث وتكون لها أهمية وخاصة أثناء ترسيب الجزيئات الصغيرة . يكون الضغط المبذول تحت الجاذبية بواسطة جزيء قطره d ناتجاً عن $dg\Delta p, \Delta p$ مكوناً فرق الكثافة ***Density difference*** لكرية دهن قطرها واحد ميكرون في اللبن ، سوف يكون الضغط 10^{-3} بسكال . واللزوجة الظاهرة التي تحتاجها لحساب معدل التقشيد (انظر تحت فصل 1.4.2.3) سوف تؤخذ في الاعتبار عند هذه القيمة . لمحة عن الشكل 6.4 تظهر أن η_a يمكن أن يكون أعلى كثيراً من المقاسة في ريومتر عادي ، حيث أن أصغر ضغط مبذول عادة ما يكون حوالي واحد بسكال . من الممكن أن سائلاً له ضغط خاضع فوق 10^{-3} بسكال يمنع الترسيب . نقطة أخرى يجب ملاحظتها وهي أن معدل التقشيد تحت الجاذبية . من نتائج اختبار الطرد المركزي ، يمكن أن تعطي نتائج زائفة ، لأن الضغط المبذول بواسطة كرية في جهاز الطرد المركزي ، يمكن أن تكون 10^3 أو 10^4 مرات أعلى من تلك تحت الجاذبية .

2.7.4 منتجات اللبن السائلة

لأغلب المنتجات المذكورة هنا ، تستخدم المعادلة 7.4 جيداً ، بـــ $\varphi = 0.8$ لأن تميل الجزيئات المعنية إلى التشتت العديد ***Polydisperse*** لكريات طبيعية يكون الحجم $1.12\ ^{ml}/_{g}$ اللزوجة لجزء حر من اللبن "***Particle-free milk***" أي رشيح فائق للبن هو حوالي 1.17 مرة لزوجة الماء .

تم توضيح تأثير كريات الدهن في شكل A 7.4 يكون عادة سلوك السائل نيوتونياً حتى $\varphi_{fat} = 0.4$ إلا إذا كان dv/dx يكون منخفضاً في القشدة الطازجة أو لبن في درجات حرارة منخفضة . يحدث التخثر البارد لكريات الدهن (انظر تحت فصل 2.4.2.3) ويسبب هذا زيادة η وتصبح شير مرقق القوام ***Shear rate thinning*** ، يعطي شكل c 7.4 أمثلة ، يكون السائل شير مرقق القوام حتى $dv/dx = 10^3 S^{-1}$.

ويلاحظ أيضاً أن حتى عند درجة 55 مئوية ، عندما يكون التخثر البارد غائباً ، فإن قليلاً من شير مرقق القوام يحدث ، ومن المفترض أن هذا يحدث نتيجة لتجمع ضـعيف لكريات الدهن سـببته جسيمات الكازين .

يظهر تحت أغلب الظروف اللبن كسائل نيوتوني ***Newtonian liquid*** ويعني هذا أن ضغط الشير ***Shear stress*** يتناسـب مع معدل الشـير ***Shear rate*** (dv/dx) . تكون لزوجة اللبن حوالي ضـعف لزوجة الماء ، هذا الفرق تسـببه المواد الذائبة والجزيئات المنتشـرة . عادة ما توصـف لزوجة الانتشار ***Viscosity of a dispersion*** بمعادلة إيليرز ***Semiempiciacl Elilers equation*** :

$$\eta = \eta_0 \left(\frac{1+1.25\phi}{1-\phi/\phi_{max}} \right)^2$$

حيث أن η_0 هي لزوجة المذيب و ϕ هي الكسـر الحجمي للجزيئات المنتشـرة ، يجب أن يؤخذ في الاعتبار جميع الجزيئات التي تكون أكبر معنوياً من جزئيات المذيب (الماء) . ويعني هذا أن حتى جزيئات اللاكتوز يجب تضـمينها . ϕ التي تتعلق بالحجم الهيدروديناميكي للجزيئات ، والتي تشـمل ماء التميُّه ***hydration water*** الطبقات الشـعرية والكهوف ***Cavities*** وعلى ذلك يكون للبن :

$$\phi = \phi_f + \phi_c + \phi_s + \phi_1$$

حيث ϕ_f متعلقة بكريات الدهن ، التي حجمها هو 1.11 مليللتر.جرام$^{-1}$ من الدهن ؛ و ϕ_c يتعلق بجسيمات الكازين (3.9 مليللتر.جرام$^{-1}$ من الكازين) ؛ و ϕ_s تنتمي لبروتينات المصل (1.5 مليللتر.جرام$^{-1}$ من البروتين) ، و ϕ_1 متعلقة باللاكتوز (1 مليللتر.جرام$^{-1}$ من اللاكتوز) .

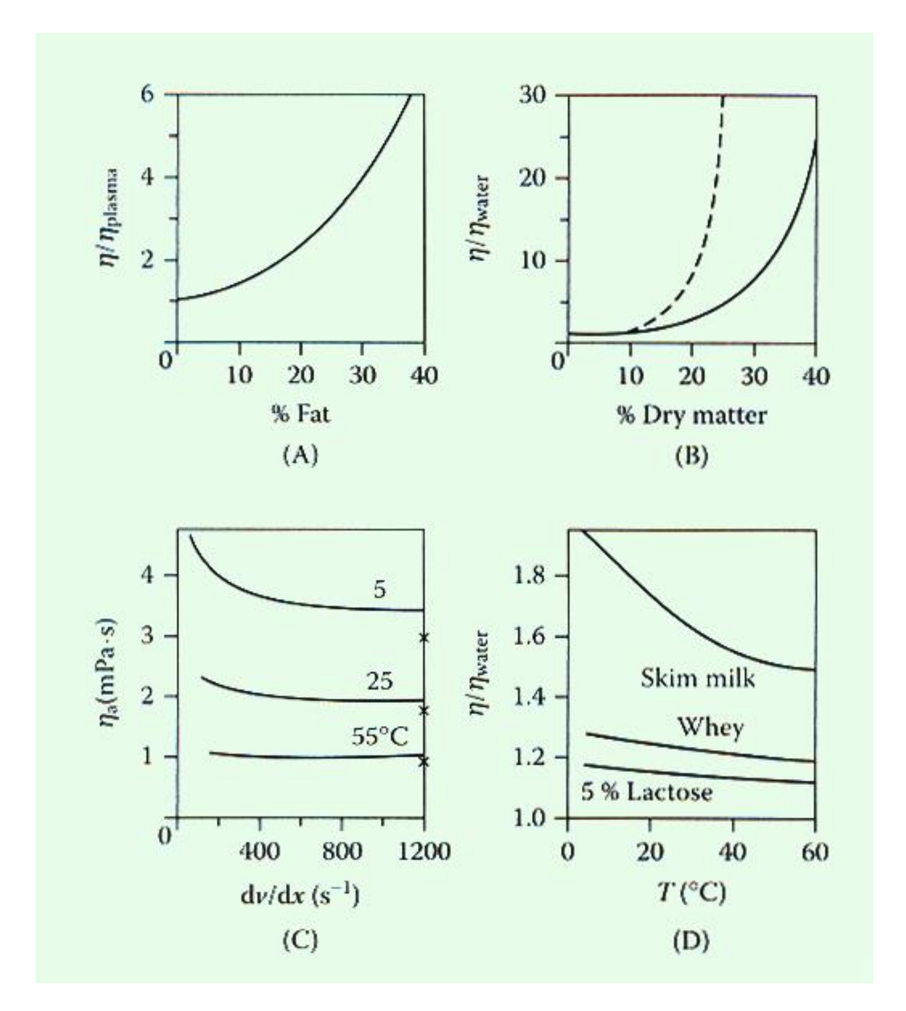
ϕ_{max} هي الكسـر الحجمي الافتراضـي الذي يجعل كل الجزيئات من ملامسـة بعضـها البعض ، مؤدية إلى η لا نهائية . في اللبن ϕ_{max} تكون عالية ، حوالي 0.9 ، لأن الجزيئات تختلف كثيراً في الحجم $\eta_0 = 1.02\eta_{water}$ للبن الزيادة بمقارنتها η_{water} سـببها الأملاح الذائبة ... الخ .

إن تأثير كريات الدهن موضـح في شـكل A 20.3 . تظل عادة سـلوك متبقيات السـائل نيوتونية *Newtonian* حتى $\phi_f = 0.4$ إلا إذا كانت dv/dx منخفضة للغاية . في القشدة الخام أو اللبن منخفض الحرارة تحدث تلزن لكريات الدهن (انظر جزء 2.4.1.3) وتسـبب زيادة η وتصـبح معتمدة على dv/dx شـكل c 20.3 يعطي أمثلة ؛ السـائل يكون *Shear rate thinning* . مثل هذا السـلوك يفهم ضـمنياً أن السـائل له لزوجة ظاهرية η' عند محتويات عالية للدهن ، η' تعتمد اعتماداً لصيقاً على dv/dx . القشدة التي تحتوي على دهن أكبر من 40% عادة تظهر سلوكاً غير نيوتوني *Non-Newtonien behavior* .

تسهم جسيمات الكازين معنوياً في قيمة η (شكل D 20.3) ، لأن حجمها كبير (جزء 2.1.2.3) قارن أيضـاً المنحنيات الموجودة في شـكل B 20.3 للبن الفرز المركز عالي الترشـيح *UF-concentrated skim milk* تكون جسـيمات الكازين جزءاً أكبر من كتلة نسـبة معينة من المادة الجافة عما هو موجود في اللبن الفرز المبخر *Evaporated skim milk* .

يظهر أن إسـهام الجسـيمات معتمد على درجة الحرارة (شـكل D 20.3) . يزداد عند درجة حرارة منخفضة ، حجم الجسيمات بصورة ملحوظة ، ويصبح جزء من البيتا–كازين مفككاً من الجسيمات . وتزداد نتيجة لذلك اللزوجة بشكل حاد . ومن الواضح أن درجة الحرارة تؤثر على اللزوجة بطرق مختلفة . المعاملة الحرارة للبن الفرز تجعل بروتينات المصل غير ذائبة ، يزيد هذا اللزوجة بحوالي 10% . وهذا يمكن شرحه بواسطة زيادة حجم بروتينات المصل .

إن زيادة الأس الهيدروجيني للبن تزيد أيضـاً من لزوجته ، بواسـطة انتفاخات إضـافية لجسـيمات الكازين ، عادة ما يؤدي الانخفاض التدريجي للأس الهيدروجيني إلى انخفاض بسـيط لـ η . يسبب انخفاض كبير للأس الهيدروجيني زيادة η ، نتيجة لتكتل الكازين . إن تجنيس اللبن له تأثيراً قليلاً على η ، ولكن تجنيس القشـدة يمكن أن يسـرع ظاهرياً اللزوجة (انظر فصـل 7.9 وتحت فصل 4.1.17) . تم تضمين بيانات إضافية في جدول A .10 .



شــكل 7.4 تأثير بعض المتغيرات على اللزوجة (η) . (A) اللبن والقشــدة عند درجة حرارة 40 مئوية . (B) اللبن الفرز واللبن الفرز المركز عند درجة حرارة 20 مئوية ؛ الخط المقطع يشــير إلى لبن الفرز على الترشــيح . (C) اللبن الخام المحتوي على 5% دهن ، dv/dx= نســبة الشــير ؛ $\eta' =$ اللزوجة الظاهرية و x تعني $2\times\eta_{water}$.
(D) تأثير درجات الحرارة المقاسة (T)

Figure 4.7 Influence of some variables on viscosity (η). (A) Milk and cream at 40°C. (B) Skim milk and concentrated skim milk at 20°C; the broken line refers to ultrafiltered skim milk. (C) Raw milk of 5% fat; dv/dx = shear rate; η_a = apparent viscosity; crosses indicate $2 \times \eta_{water}$. (D) Influence of measuring temperature (T)

مراجع مقترحة *Suggested Lierature*

خواص فيزيائية عديدة عن اللبن :

J.W. Sherbon, in N.P. Wong. Ed. Fundamentals of Dairy chemistry, 3rd *ed, Van Nostrand Reinhold, New York,* 1988, *Chapter* 8; *H. singh, O.J. Mc Carthy, and J.A. Lucey, in P.F. Fox, Ed, Advanced Dairy Chemistry, Vol.* 3, *Lactose, water, salts, and vitamins,* 2nd *ed, chapmen & Hall, London,* 1997, *chapter* 11.

نفس الكتاب يحتوي على باب عن النكهة :

P.L.H. Mc Sweeneg, H.E. Nursten, and G. Urbach, Flavours and off-flavours in milk and dairy products, chapter 10.

كتاب آخر أكثر تخصصاً عن نكهة اللبن :

H.T.Badings, in H. Maarse, Ed., Volatile Component, in Food and Beverages, Dekker, New York, 1991, *chapter* 4.

معلومات مفصلة أكثر عن خواص المحلول ، الصفات الضوئية وريولجي الموانع

P. Walstra, physical chemistry of foods, Dekker, New York, 2003.

أساسيات بيولوجيا الموائع

H.A.Barnes, J.F. Hutton, and K. Walters, An Introduction to Rheology, Elsevier, Amsterdam, 1989.

5 ميكروبيولوجيا اللبن *Microbiology of Milk*

يجب أن يكون للبن مكون كيميائي مرغوب ، ذا نوعية صـــحية مرضـــية ، وأن تكون مكوناته صـــالحة لعملية التصـــنيع . فالمركبات الغريبة التي دخلت أثناء أو بعد عملية الحلب والتي نتجت من تغيرات حدثت في اللبن تكون محددة لنوعيته والتي تحد من صـــلاحيته الكيميائية والغذائية والميكروبية ، وسوف نعطي أمثلة للكائنات الدقيقة التي تصيب اللبن محدثة تسمماً غذائياً أو تلك التي تفسد اللبن بتحويله إلى حامض أثناء التخزين أو الضوء المسبب لنكهة غير مرغوبة أو أكســـدة الدهون وتحلل الدهون الناتجة عن التحول الكيميائي أو الإنزيمي ، بالإضـــافة إلى ذلك المركبات الضـــارة لصـــحة المســـتهلك ، مثل المضـــادات الحيوية ، المطهرات ، ومبيدات الآفات ، والمعادن الثقيلة يمكن أن تدخل للبن .

يتم في هذا الفصل مناقشة الجوانب الميكروبيولوجية بصحة اللبن ، بينما تتم فقط تغطية التلوث الكيميائي للبن في جزء 2.6.2 .

1.5 جوانب عامة *General Aspects*

اللبن مصـــدر جيد للمواد المغذية والطاقة الغذائية ، ليس فقط للثدييات ولكن لكائنات دقيقة عديدة ، والتي يمكنها النمو في اللبن ، وهي تخص في المرتبة الأولى البكتيريا ، ولكن بعض الفطريات والخمائر تســتطيع أيضـاً أن تنمو في اللبن ، وســوف يتم في هذا الجزء مناقشــة بعض الجوانب العامة للنمو وتثبيط الميكروبات في اللبن .

1.1.5 الكائنات الدقيقة *Microorganisms*

الكائنات الدقيقة مخلوقات حية لا ترى بالعين المجردة . حجمها الصـــغير جعلها تختفي خلف حدود رؤيتنا ، بالنظر في الميكروســـكوب نجد أن عالم الطحالب ، الأوليات ، الخمائر ، البكتيريا والفيروسات أصبحت مضاءة ، عادة تحت الميكروسكوب يمكن التفريق بين الفلورا النباتية

والفونة الحيوانية . كثير من الكائنات الدقيقة صـــنفت كأنها نباتات تمتلك بعض الخواص الحيوانية والعكس صحيح ، وعلى ذلك فقد افترضت مملكة منفصلة للكائنات الدقيقة سميت بالبروتيستا *The Protists* . تشـتمل هذه المملكة على كائنات حية مختلفة التركيب من الحيوانات والنباتات والتي غالباً ما تكون وحيدة الخلية *Unicellular* . وعلى أســاس تركيب خليتها يمكن التمييز بين مجموعتين مختلفتين . البروتيستا الراقية *Higher Protists* والتي لها تركيب خلوي مشابه للحيوانات والنباتات ، وهم ينتمون إلى حقيقيات النواة *Eukaryotes* . تمتلك الخلية حقيقية النواة نواة حقيقية محاطة بغشــاء نووي وعضــيات مثل الميتوكندريا أو الكلوروبلاســت (مشــابهة للنبات) . الطحالب ، الأوليات ، الخمائر ، والأعفان تنتمي إلى هذه المجموعة ، تشــتمل البروتســتا البدائية *Lower Protists* على البكتيريا والســيانوبكتيريا ويكونا بدائيات النواة *Prokaryotes* وتختلف كلية عن حقيقيات النواة . إن المادة الوراثية أو *DNA* الخلية بدائية النواة لا توجد في النواة ولكن تقع حرة في السيتوبلازم حيث تكون العضيات غائبة .

الفيروسات ، جزيئات غير خلوية ، تختلف عن جميع الكائنات الأخرى . لا تستطيع هذه الكائنات التكاثر بنفسها وتحتاج إلى خلايا حية لكي يتم تضاعفها . ولأن البكتيريا هي الكائنات الدقيقة الرئيســية التي لها علاقة باللبن و المنتجات اللبنية ، فتحت الفصــل التالي (2.1.5) يحتوي على بعض المعلومات الأســاسـية عن خصـائصـها ، تحت فصـل 3.1.5 يهتم بالخمائر والأعفان، ولاقمات البكتيريا *bacteriophages* سوف تناقش في فصل 13 .

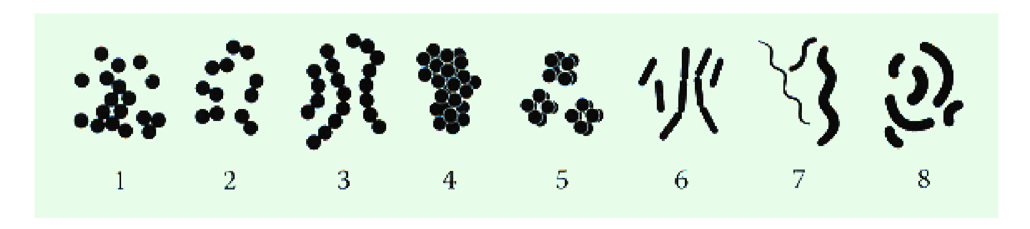
2.1.5 البكتيريا *Bacteria*

تشـمل البكتيريا الكائنات الحية الأصـغر المعروفة ، حجمها الصـغير له عواقب هامة ليس فقط في الشــكل ولكن أيضــاً لنشــاط ومرونة أيض البكتيريا . قطر أغلب البكتيريا أقل من واحد ميكرومتر ، ومتوسط حجمها هو واحد ميكرومتر مكعب ، تكون بكتيريا كثيرة عصوية الشكل ، والبعض الآخر كروي والبعض الآخر حلزوني محدب . يحدث التكاثر في البكتيريا بالانقســام الثنائي اللاجنســي *Asexual* . تميل خلايا بكتيريا وحيدة الخلية معينة إلى الالتصــاق مع بعضــها بعد

الانقسام الخلوي ، تتجمع الخلايا في نظام مميز والذي يعكس المستويات التي يحدث فيها الانقسام الخلوي ، وعلى ذلك تتكون صفائح أو تكتلات أو سلاسل خلوية (شكل 1.5) .

في مجموعات قليلة من البكتيريا ، يمكن أن تدخل الخلايا مرحلة كمون ، وتكون جراثيم داخلية *endospores* عادة واحدة لكل خلية ، بواسطة تشكل جزءاً من البروتوبلاست *protoplast* إلى وحدة لها جدار سميك يقذف بها من بقايا الخلية عندما تتحلل ، تكون هذه الخاصية نموذجية للأجناس باسيلايس ***Bacilles*** وكلوستريديم ***Clostridium*** .

خاصية تقسيمية هامة للبكتيريا هي تفاعل موجب الصبغ *Gram stain reaction* . يتحدد هذا التفاعل بواسطة فحص ميكروسكوبي للخلية التي صبغت بنجاح بصبغة قاعدية *Crystal violet* ، المعاملة بمحلول اليود والشطف بالكحول ، تحتفظ الخلايا موجبة الجرام بالصبغة البنفسجية . بينما في الخلايا سالبة الجرام يزال اللون بالكحول . الخطوة الأخيرة هي استخدام الصبغة الحمراء (عادة سافرانين *Safranin*) وعلى ذلك فالخلايا سالبة الجرام يمكن أن ترى بوضوح . تفاعل صبغة الجرام له علاقة بخصائص أخرى للبكتيريا ، مثل تركيب غلاف الخلية .



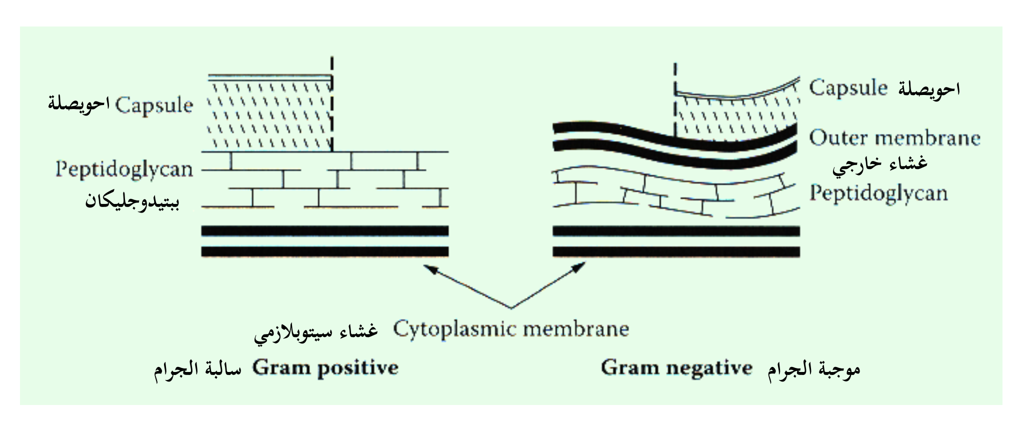
شكل 1.5 أشكال البكتيريا وحيدة الخلية (1) ميكروكوكي (2) ديبلوكوكي (3) ستريبتوكوكي (4) سارسينا (6) عصي (7) سبيريللا (8) فيبريوس ، بسيروموناس

Figure 5.1 Forms of unicellular bacteria: (1) Micrococci, (2) Diplococci, (3) Streptococi, (4) Staphylococci, (5) Sarcina, (6) Rods, (7) Spirilla, (8) Vibrios, Pseudomonads. (From H.G. Schegel, *Algemeine Mikrobiologie*, Thieme Verlag, Stuttgart, 1985. With permission)

يتكون غلاف خلية البكتيريا من غشاء سيتوبلازمي وجدار الخلية . الغشاء السيتوبلازمي له خصـــائص عامة لكل البكتيريا وله تركيب مزدوج الطبقات كما هو موجود في الخلايا النباتية والحيوانية ، ويكون جودها أساسياً لحسن عمل الحاجز الإسموزي ضد البيئة الخارجية ، ويعزل نشاط البروتوبلازم داخل وحدة خلوية ، وهو البروتوبلاست .

يحتوي الغشـاء السـيتوبلازمي على الأجهزة الإنزيمية لسـلسـلة نقل الإلكترون والفسـفرة التأكسـدية ، وأنظمة للنقل النشـط للمادة المذابة وإخراج المنتجات المسـرفة بالإضـافة إل الجهاز التخليقي اللازم لإنتاج طبقات خارجية ، يحيط الغشـاء السـيتوبلازمي بجدار الخلية ، والذي يكون عادة صلباً كما يكون مسئولاً عن شكل البكتيريا ، يحتوي جدر خلية البكتيرية على ببتيدوجليكان وهو بوليمر وحيد مكون من وحدات متكررة من حمض ميراميك–هيكســوزامين وببتيد صــغير ، يكون هذا البوليمر كيسـاً حول بروتوبلاسـت البكتيريا ويحميها ضـد الانفجار عندما تكون تحت ضـغط أسموزي معتبر نتيجة المواد المذابة وتحافظ على محتوى الخلية بداخل الغشـاء السـيتوبلازمي الهش . ولأن الببتيدوجليكان يكون متفرداً في البكتيريا وضرورياً لمعيشتها ، مضادات حيوية عديدة مطبقة بنجاح مثل البنسلين ، الذي يعمل في خطوات في التخليق البيولوجي لهذا البوليمر ، أوضح فحص قطاعات باسـتخدام الميكروسـكوب الإلكتروني خلال بكتيريا موجبة وسـالبة الجرام فروقاً شكلية كبيرة . الغشاء السيتوبلازمي للبكتيريا موجبة الجرام مغلف في طبقة سميكة من ببتيدوجليكان وفي بعض الحالات في حوصـلة خارج الخلية (انظر النص التالي) . يكون غلاف البكتيريا سـالبة الجرام أكثر تعقيداً (شـكل 2.5) . يظهر جدار الخلية ببتيدوجليكان أقل جوهرية وليس له اتصـال لصـيق مع غشـاء السـيتوبلازم كتركيب مناظر في البكتيريا موجبة الجرام . إن المظهر الأهم لغلاف البكتيريا سـالبة الجرام هو وجود غشـاء ثاني خارج بيبتيدوجليكان الغشـاء الخارجي . أيضـاً يتكون هذا الغشـاء من طبقتين بروتين/دهن . توجد تحت هذا التشـابه السـطحي تشـابهات فسيولوجية أو تركيبية قليلة بين الغشاء السيتوبلازمي والغشاء الخارجي ، وذلك بعكس الأدوار المختلفة التي تلعبها الأغشـــية في حياة البكتيريا . إن الغشـــاء الخارجي للبكتيريا ســـالبة الجرام ليس لها دور في نقل الإلكترون ولها دور محدود في النشـــاط الإنزيمي . ويتم التعرف عليه بواســطة وجود بروتينات معينة (*porins*) وسكريات متعددة دهنية ، والتي تكون متفردة الوجود في غلاف البكتيريا سالبة الجرام .

يكون الغشاء الخارجي حاجزاً جاعلاً سطح هذه البكتيريا أقل نفاذية من الموجود في البكتيريا موجبة الجرام لتشـكيلة واسـعة من الجزيئات مثل مضـادات حيوية معينة . السـكريات العديدة الدهنية في الغشـاء الخارجي هامة لمعيشـة ونمو البكتيريا في العائل الحيواني . وتسـاعد مقاومة فعل اسـتحلاب أملاح الصفراء وميكانيكيات دفاع العائل مثل بلعمة الأشياء الغريبة .



شكل 2.5 شكل تخطيطي لغلاف خلية بكتيرية سالبة وموجبة الجرام

Figure 5.2 Diagrammatic representation of the cell envelope of Gram-positive and Gram-negative bacteria. (Redrawn from S.M. Hammond, P.A. Lambert, and A.N. Rycroft, *The Bacterial Cell Surface*, Croom Helm, Australia, 1984)

تكون أســـطح كثير من البكتيريا مغطاة بســـطح خلوي خارجي بمادة لزجة يســـمى *Slime material* أو جليكوكـاليكس *Glycocalix* . عنـدمـا يوجـد هـذا البوليمر اللزج يمكن أن يغلف الســـطح الخـارجي لجـدار الخليـة البكتيريـة كمحفظـة *Capsule* . عـادة لا يكون البوليمر موزعاً توزيعاً منتظماً على ســـطح الخلية ، ولكن يوجد بصـــورة غير مرتبة ، تتكون هذه الحوصـــلة من ســـكريات عديدة إفرازية أو مادة عديدة الليبتيد والتي يمكن تميزها عن جدار الخلية البكتيرية ، تفرز أغلب البكتيريا بوليمر لزج وخاصـــة تحت ظروف طبيعية ، ولقد اقترح أن البوليمر يمكن أن يســـهم في بقاء البكتيرية حية . تنتج بعض بكتيريا حامض اللكتيك ســـكريات عديدة

خارجية *Exopolysaccharides* أثناء نموها في اللبن ، والتي يمكن أن تؤثر على تركيب المنتجات المخمرة .

يمكن أيضاً أن يكون التحوصل *Encapsulation* مسئولاً عن احتياج بكتيريا ممرضة معينة في إحداث العدوى ويمكن أن تساعد هذه الكائنات في الهروب من تأثيرات الجهاز المناعي للعائل .

تكون بعض البكتيريا متحركة ، وتكون الحركة في هذه البكتيريا نتيجة لنشاط الأسواط والتي قد يوجد واحد أو أكثر منها لكل خلية . يستخدم توزيع الأسواط على الخلية أولياً في أغراض تقسيمية بين أنواع البكتيريا يوجد نظامان عامان هما قطبي *Polar* وجانبي *Peritrichous* هناك ميكانيكيات أخرى للحركة غير الأسواط موجودة في بعض البكتيريا . جميع المميزات الشكلية التي ذكرت عالية ، مع بعض الخواص الفسيولوجية (مثل الحاجة للأكسجين أثناء النمو : بكتيريا هوائية وغير هوائية) تكون هامة في تقسيم البكتيريا . في نظام التسمية الثنائي *Binary nomenclature system* تعطي البكتيريا أسماء الجنس *Genus* والنوع *Species* . وتجمع الأجناس في عائلة *Family* (تنتهي بـــ *aceae*) والعائلات تجمع في رتب *Orders* (تنتهي بـــ *ales*) . في جدول 1.5 بعض الأمثلة لعائلات أساسية من البكتيريا والتي لها ممثلان مرتبطان باللبن تم ذكرها . حتى لو كان هناك نظام تقسيمي كامل للبكتيريا ، فإنه يمكن أن نستنتج أن هذه الكائنات متنوعة ومرنة . بالرغم من أنها لا تبدي اختلافات شكلية كثيرة ، على العكس من خواصها الفسيولوجية المختلفة ، تدعم هذا الاختلاف والمرونة بقدرتها التخليقية الواسعة والتركيب البسيط لمادتها الوراثية . وكرد للتغيرات البيئية فإن البكتيريا يمكن أن تكيف نفسها فسيولوجياً وجينياً ، وتنشئ سلالات من البكتيريا التي تختلف في الخواص عن البكتيريا الأصلية . يمكن أن تكون هذه التكيفات للمستويات المختلفة للتعبير الجيني ، وعلى ذلك تؤثر على تصنيع البروتين أو نتيجة لطفرة *Mutation* حدثت لجينات معينة . وفي كلتا الحالتين يمكن للبكتيريا أن تخرج وتكون أحسن

إعداداً للتغلب على الظروف البيئية المتغيرة ، وعلى مدار الوقت تم اكتشــــاف أنواع متغيرة كثيرة ، وتحت أنواع وســـلالات بكتيرية . وقد ســـاعد التقدم الحديث في التحليل الجيني للبكتيريا كثيراً في التفريق بينهـا . فمثلاً الجنس لاكتوكوكس ***Lactococcus*** والـذي يـأوي النوع المعروف لاكتيس ***Lactis*** والذي يتكون من تحت نوعين لاكتيس ***lactis*** وســـريموريس ***Cremoris*** . والتحت نوع الأول له متغير Variant مشــــهور بقدرته على تحويل الســـيترات Citrate إلى إســـتيل ثنائي Diacetyl من هذه البكتيريا ***diacetglactis*** ، ***Lactococcus lactis ssp. Lactis biovar*** عدة ســـلالات تم تعريفها . مثال آخر هو وجود ســـلالات عديدة من البكتيريا ســـالبة الجرام ***Escherichia coli*** ، بعض من هذه الســـلالات آكل للعفن *Saprophytic* والآخر يســـبب أمراضاً معوية *Enteropathogenic* . تكاثر الأنواع البكتيرية وتقسيمها يوجد حالياً في الدراسات السـابقة . تعتمد أنظمة التقسيم على نظام عالمي لتسمية البكتيريا ولا يزال ***Bergey's Manual*** يستعمل بشكل واسع في هذا الصدد .

3.1.5 الخمائر والأعفان *Yeasts and Molds*

الخمـائر والأعفـان كـائنـات دقيقـة حقيقيـة النواة لهـا حجم كبير نســـبيـاً وتراكيـب نووية محددة ، ولعل هذه الخصـــائص تميزها بوضـــوح عن البكتيريا . تنمو هذه الكائنات الحية على وســـط زراعة صـــنـاعي *Artificial culture media* ولكن طرق التكـاثر تكون أكثر تعقيـداً من البكتيريا . ويســـبب نشـــاطها الإنزيمي أنواعاً دارجة كثيرة من الخمـائر والأعفـان تكون لها أهمية كبيرة في الطب والصـناعات الدوائية . يسـبب بعضـها التعفن *Fermentations* والتي تنتج مواد قيمة مثل الكحول الإيثيلي والإيزوبروبيلي والأسيتون . ويسبب بعضها أضراراً نتيجة تحلل أنواع كثيرة من المواد العضوية . تسبب بعض الأعفان والخمائر أمراضاً للإنسان والحيوان والنبات . بعض الأعفان مثل البنسليوم *Penicillium* ، والتي منها ينتج البنسيلين Penicillin والتي لها أهمية بالغة كمصـــــدر للمضـــــادات الحيويـة . في صـــنـاعـة الألبـان تكون أعفـان وخمـائر معينـة

جدول 1.5 بعض الأجناس البكتيرية التي يحتمل تواجدها في اللبن

Table 5.1 Some Genera of Bacteria Possibly Associated with Milk

الاحتياجات من الأكسجين Requirement	تفاعل الجرام Gram Reaction	الحركة Motility	الشكل Morphology	الجنس Genus	العائلة Family
Aerobic هوائي	+	–	Coccus مكور	*Micrococcus*	Micrococcaceae
Aerobic هوائي	+	–	تجمع من كريات Clump of cocci	*Staphylococcus*	
يتحمل الهواء Aerotolerant	+	–	كري مزدوج Diplococcus	*Lactococcus*	Lactbacillaceae
Acrotolerant	+	–	سلسلة من كريات Chain of cocci	*Streptococcus*	
Aerotolerant	+	–	عصوي سلسلة Rod, chain	*Lactobacillus*	
هوائي Aerobic	+	–	عصوي جراثيم Rod, spores	*Bacillus*	Bacillaceae
غير هوائي Anaerobic	+	–	عصوي جراثيم Rod, spores	*Clostridium*	
هوائي اختياري Facultative aerobic	–	(أسواط جانبية) + (Peritrichous)	عصوي Rod	*Escherichia*	Enterobacteriaceae
هوائي اختياري Facultative aerobic	–	(أسواط جانبية) + (Peritrichous)	عصوي Rod	*Salmonella*	
هوائي Aerobic	–	+ (Polar) قطبي +	عصوي Rod	*Pseudomonas*	Pseudomonadaceae

أساسية لنضج أنواع معينة من الجبن (الباب 25 والباب 27) . تكون أغلب الأعفان قادرة على النمو في ظروف لا تستطيع الخمائر والبكتيريا أن تنمو فيها ، بسبب الضغط الإسموزي المرتفع والحموضة أو انخفاض المحتوى المائي . لا تستطيع الأعفان العيش إلا في وجود الأكسجين ، بينما يمكن أن تنمو الخميرة في ظروف هوائية ولاهوائية .

يكون التفريق بين الخمائر والأعفان صعباً في بعض الأوقات ، بسبب التحول في شكل وطريقة التكاثر من مجموعة إلى أخرى . والتفريق يكون دقيقاً لدرجة أنه من الصعب رسم خطوطاً واضحة الحدود بينها . نحن نعتبر أن الخمائر كائنات ميكروسكوبية لها خلايا بيضية أو ذات قطع ناقص ، تعيش كل خلية كأنها فرد كامل . تكون الأعفان خيوطاً طويلة متفرعة تسمى هيفات *Hypheae* والتي تنمو لتكون كتلاً ميكروسكوبية تسمى ميسيليا *Mycelia* . وتظهر صعوبة في التقسيم ، لأن بعضاً من هذه الفطريات *Fungi* تكون ميسيليا محددة تحت ظروف معينة من النمو والتغذية ، تتكون خلايا تشبه الخميرة تحت ظروف أخرى .

تكون خلايا الخميرة أطول في المتوسط عن الخلايا البكتيرية تتراوح أغلب الخلايا البيضية للخميرة بين 5 إلى 8 ميكرومتر في الطول ، لتعطي حجماً حوالي 100 ميكرومتر^3 والذي يكون 100 مرة أكبر من البكتيريا .

يكون قطر الخيوط لأغلب أنواع الأعفان أكبر نسبياً ، وتتراوح بين 5 و 50 ميكرومتر أو حتى أكبر (غالباً ما يمكن رؤيتها بالعين المجردة) . يمكن أن يكون طول الخيوط كبيراً ، يمكن أن يعطي ميسليوم فطر كامل عدة سنتيمترات مربعة ، يكون النمو القطني *Cotton* وعلى شكل بودرة *Powdery* للميسليوم أسود ، أخضر ، أصفر ، أبيض اللون ويمكن أن يرى في المربى والخبز القديم والفاكهة والجبن .

تتكاثر الأعفان والخمائر جنسياً ولاجنسياً . يتم التكاثر اللاجنسي للخميرة بتبرعم الخلايا الناضجة ويعطي خلايا بنوية عدة ، والتي تكون أصغر في البداية ويمكن أن تظل ملتصقة بالخلية الأم حتى يتم الانقسام . تم معرفة عدة أشكال جيدة التحديد

للتكاثر اللاجنســي حدوثها في الأعفان . تكون الأعفان التي لها هيفات مقســمة عادة عدد من الانقســامات ينتج عنها انفصــال عدد من الخلايا القصــيرة البيضــية الشــكل والتي تســمى أوإيـديـا *Oidia* أو أرثروســبورات *arthrospores* . يقوم فطر اللبن جيوتريكيم كـانـديـديم ***Geotrichum candidum*** بالتكاثر اللاجنســي . تكون بعض الأعفان ســبورأنجيوســبورات *Sporangio spores* بانقســام نووي لاجنســي متكرر داخل أكياس كروية تســمى ســبورانجيا *Sporangia* . وعندما تنفتح الســبورانجيم تنطلق الســبورانجيوســبورات *Sporangios pores* . يكون العفن المعروف ميكور ***Mucor*** هذا النوع من الجراثيم *Spores* تتكون الكونديوســبورات *Conidiospores* في النهاية الحرة للهيفات الناضجة بواسطة عدة أعفان ، وبدلاً من أن تحتوي في سبورانجين *sporangium* فإنها تكون حرة . وتكون في بعض الأحيان في سلاسل طويلة . شكل وحجم وترتيب الهيفات المتفرعة (*Conidiophores*) والتي تكون وتدعم الكونيديوســبورات بالإضــافة إلى لون الكونيديا، تكون مميزة لأجناس وأنواع عديدة . تكون الأعفان في الأجناس أســبيرجيلليس ***Aspergillus*** وبنيســيليوم *Penicillium* كونيديوســبورات في ســلالات عديدة للأعفان والخمائر . تم تســجيل تكاثر جنســي ، في هذا النوع من التكاثر تلتحم خليتان لتكون أجســاماً مميزة تحتوي على عدة جراثيم لها مادة وراثية من الخليتين الأبويتين التي عادة ما تســمى بالجاميتات *Gametes* .

4.1.5 عدّ الكائنات الدقيقة ***Enumeration of Microorganisms***

تجرى طرق إحصــائية للعد البكتيري بطريقة روتينية لتحديد التلوث الميكروبي في عينات اللبن ، يحدد ما يسمى بالعد البكتيري الكلي بواسطة العد على شريحة قياسية ، والتي تقيس جميع البكتيريا القادرة على عمل مستعمرات على وسط أجار مغذى في خلال 48 ساعة تحت ظروف هوائية عند 32 درجة مئوية ، تكون العينات مخففة لدرجة أن الشــرائح تســع من 30 إلى 300 مســتعمرة . يعطي عدد المســتعمرات مضــروب في التخفيف تركيز الخلايا البكتيرية في العينة الأصلية ، يسمى هذا التركيز الوحدات المكونة للمستعمرة (*CFUS*) *Colony-forming units*

ولأن بكتيريا عديدة تميل إلى البقاء ملتصقة ببعضها بعد الانقسام ، فإن عدد المستعمرة يمكن أن يكون أصغر من الأعداد الحقيقية للخلايا الحية الموجودة ، وهذا يكون صحيحاً خاصة للأنواع لاكتوكوكس ***Lactococcus*** وستريبتوكوكس *Streptococcus* وكذلك لبعض الأنواع من بكتيريا باسيللس *Bacillus* واللاكتوباسيللس ***Lactobacillus*** . لتطبيق العينات بدائل عديدة ولكنها طرق أقل تطبيقاً ، شاملة عد الحلقة *Loop count* وعد الترشيح الغشائي *Membrane filter count* .

يمكن أن تستخدم طريقة التخفيف المتسلسل *serial dilution* أيضاً بواسطة تلقيح مليلتر واحد لتخفيفات عشرية للعينة في ثلاث مكررات أو في خمس أضعاف داخل أنابيب متسلسلة مع العترة أو المرق (*broth*) من عدد الأنابيب التي بها نمو واضح بعد التلقيح ، يمكن أن يحسب العدد المحتمل للبكتيريا الموجودة في العينات غير المخففة باستخدام جداول حسابية . يمكن أن تستخدم هذه الطريقة أيضاً لعد مجموعات معينة من البكتيريا بإضافة مواد كاشفة خاصة إلى العترة . فمثلاً إضافة اللاكتوز وملاحظة التخفيف الأعلى للعينة والتي بها يتكون تخمر اللاكتوز (حمض وغاز) .

طريقة سريعة لتقدير العد البكتيري الكلي في اللبن ، فمثلاً يستخدم مع الباكتوسكان (*Bactoscan*) صبغة فلوريسينية . تتحلل في هذه الطريقة الخلايا الجسمية كيميائياً ومع جزيئات أخرى منفصلة من الخلايا البكتيرية بواسطة الطرد المركزي ، تصبغ الخلايا البكتيرية بعد ذلك بواسطة الأكريدين البرتقالي *Orange acridine* ويعالج بالضوء الأزرق الذي يسبب نبضات ضوء برتقالي يشع من البكتيريا الحية . يتم التقاط هذه النبضات بواسطة كاشف ضوئي مثبت في شيئية ميكروسكوب فلوريسيني ، تكون تحت البكتيريا المصبوغة موجهة نحو قناة موصلة ، يجعل الاختلافات في تداخل الأكريدين البرتقالي *Acridine orange* داخل *DNA* الخلية . الخلايا الميتة تطلق الأخضر الخفيف *Green light* ، بينما تطلق الخلايا الحية البرتقالي الخفيف *orange light* ويؤكد هذا أن الباكتوسكان يعد الخلايا البكتيرية الحية فقط مؤدياً إلى

قيم عد بكتيري ربما يكون معنوياً الأعلى من قيم *CFU* خاصــــة في وجود البكتيريا التي تكون سلاسل أو عناقيد .

على الرغم من أن العـد الكلي للخلايـا البكتيريـة مفيـد للتـأكـد من أن اللبن يســتجيب للأنظمة الخاصــة ، ولكنها تكون أقل فائدة لتعريف مصــدر التلوث البكتيري ولتقدير المخاطر لنوعية اللبن التي تسـببها عشـيرة بكتيرية معينة ، تعين تجارب مختارة وتقدر نوعاً خاصـاً أو مجموعة من البكتيريا يمكن أن تثبت أهميتها ، وعادة يمكن أن يقترح تعريف كائنات ســـائدة في عشـيرة معينة طريق أو مصــدر تلوث ممكن ، ويمكن أن يســاعد في تعيين الخطر البكتيري لنوعية وأمان اللبن . تم تطوير تجارب مختارة وتفاضـــلية عديدة لتحدد وجود أو غياب أنواع معينة من البكتيريا في اللبن ، تم اقتراح بروتوكولات لتحـديـد وتقـدير البكتيريـا المحبـة للبرد والمحبـة للحرارة ، والبكتيريا المحللة للبروتين ، والأشكال القولونية المسببة للمغص ، بكتيريا حامض اللاكتيك وبكتيريا الأمعاء (المكور المعوي *Enterococci*) وجراثيم البكتيريا الهوائية ، تتوافر كذلك طرق لعد الخمائر والأعفان .

إن أي تقنية تحليلية غرضــها تحديد العشــائر البكتيرية الموجودة في اللبن لها حدودها . ما من تجربة تستطيع تحديد جميع البكتيريا وتعطي صورة كاملة للعشائر الميكروبية ، ولا حتى التجارب غير الإختبارية الموجهة لتعيين الأعداد الكلية البكتيرية . أيضاً معلومات عن الكتلة الميكروبية الكلية الموجودة هي عادة الأكثر إعلاماً عن عدد الكائنات الحية . وعلى ذلك يجب أن يقرر التحليل الميكروبي أي تجارب ســـوف تقدم المعلومات الأكثر فائدة عن العشـــائر الميكروبية لمنتج معين أو للوضع الذي يتم فحصه .

5.1.5 النمو **Growth**

تتكاثر البكتيريا بالانقســـام ، فيعطي كل انقســـام خلوي خليتين بكتيريتين جديدتين ، يكون التضاعف بمتوالية هندسية $2^0 \leftarrow 2^1 \leftarrow 2^2 \leftarrow 2^3 \leftarrow 2^n$.

إذا كانت مزرعة البكتيريا تحتوي على No خلية لكل مليلتر$^{-1}$ فإن العد البكتيري بعد انقســـامات عددها n يكون :

$$N = N_o \cdot 2^n \qquad (5.1)$$

أو :

$$\log N = \log No + n \log 2 = \log No + 0.3n \qquad (5.1\ a)$$

يحدد الوقت اللازم لانقســـام كـامل لخلية معدل النمو . ويســـمى وقت الجيل و *Generation time* ويمكن الحصـــول عليه من عدد الانقســـامات التي تحدث أثناء وقت معين t :

$$g = t / n \qquad (5.2)$$

ونتيجة ذلك وفي ظروف غاية التحديد ، فإن العد البكتيري N بعد فترة تخزين t يمكن حســـابه من المعادلات (a 1.4) و (2.4) ، إذا كانت No و g معروفة ، فإن :

$$\log N = \log No + 0.3t / g \qquad (5.3)$$

يعتمد وقت الجيل g على عدة عوامل ، تكون في اللبن نوع البكتيريا (أو الصـــنف) ودرجة الحرارة ذات أهمية خاصــة . عوامل أخرى متورطة هي الأس الهيدروجيني ، الضـغط الأكسـجيني ، وتركيز المثبطات والمغذيات التي تكون ثابتة في اللبن الخام .

يعني نمو البكتيريـا زيـادة في عـددهـا ، عـادة مـا تعطي الطرق المتبعـة في التعرف عـدد الوحدات المكونة للمســـتعمرة *CFU* لكل مليلتر ، وحيث أن عدة بكتيريا تميل إلى أن تبقى متشـابكة مع بعضـها بعد الانقسـام مكونة سـلاسـل طويلة أو قصـيرة من الخلايا المفردة (حتى حوالي 100 ولكن عادة أقل) ، يمكن أن يكون عدد المســـتعمرة أقل كثيراً من الأعداد المعتادة في الخلايا الحية الموجودة ، يكون هـذا مطـابقـاً للحقيقـة ، خـاصـــة لأنواع البكتيريا لاكتوكوكس ***Lactococcus*** وســـتربيتوكوكس ***Streptococcus*** وكـذلـك الحـال بـالنســـبة لبعض أنواع من البكتيريا لاكتوباســـيليس ***Lactobacillus*** . إن المعادلات المذكورة عاليه يجب ترجمتها بعناية . يكون تحديد الكتلة الحيوية للبكتيريا الموجودة في بعض الحـالات مفضـــلاً . ويجب أن يؤخذ في الاعتبار أن خلايا الخميرة تكون أكبر من أغلب البكتيريا ويمكنها إنتاج مواد أيضـــية أكثر ، لكل

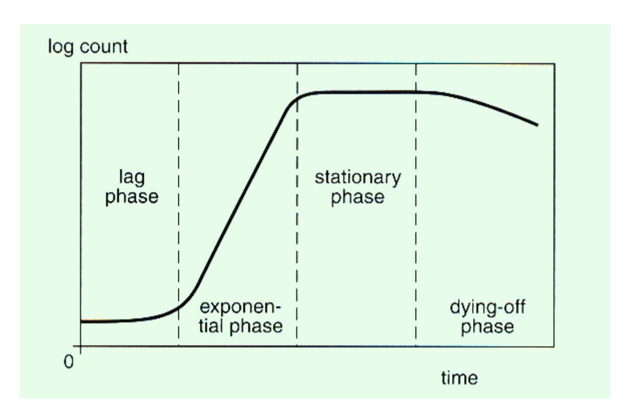
خلية لكل وحدة زمن عن البكتيريا . وينطبق ذلك أيضاً على الفطريات ، حيث يكون الفرق بين *CFU* وعدد الخلايا المنفردة مختلفاً كثيراً أيضاً (تحت فصل 4.1.5) .

تطبق المعادلات المذكورة سابقاً على حالة النمو ذات الدالة الأسية للبكتيريا (تسمى في بعض الأوقات الحالة اللوغاريتمية) . يوضح الشكل 3.5 حالات النمو المختلفة التي يمكن التعرف عليها أثناء طور الكمون ***lag phase*** ، لا تتضاعف البكتيريا لأن جهازها الإنزيمي يحتاج لعملية تكيف ، لتمكن البكتيريا من أن تقوم بعملية أيض للمواد المغذية في الوسط . وتعتمد فترة طور الكمون على الحالة الفسيولوجية للبكتيريا ، درجة الحرارة ، وخواص الوسط . أثناء طور النمو الأسي ***Exponential phase*** يكون فيه النمو عند معدلات قصوى حتى الوصول إلى الطور الساكن أو الثابت ***Stationary phase*** . في الطور الأخير وفيه مازال بعض النمو يحدث مع موت للبكتيريا ، وهو طور موت البكتيريا واحدة بعد الأخرى Dying – off phase . انخفاض معدل النمو يكون سببه عمل المثبطات التي كونتها البكتيريا نفسها أو بواسطة نقص المغذيات المتاحة ، وعادة ما يتحول طور الكمون إلى طور موت البكتيريا ، وأثناء ذلك يقل العد البكتيري ، الطوران الأولان للنمو لهما أهمية خاصة لنوعية اللبن والمحافظة على نوعيته ، يكون الطوران الأخيران في منتجات اللبن المخمرة ضروريين أيضاً .

إن لدرجة الحرارة تأثيراً كبيراً على نمو البكتيريا ، يؤخر انخفاض درجة الحرارة معدل جميع كل العمليات في الخلية ، وبالتالي تبطئ النمو وتقلل معدل التخمر (أي إنتاج الحامض) . بالإضافة إلى ذلك ، فإنها تمد فترة فاعلية بعض المثبطات البكتيرية الطبيعية في اللبن ، وكذلك تدخل بكتيريا كثيرة اللبن من أوساط أخرى مثل الروث أو حلمة الثدي ، يجب أن تؤقلم نفسها للوسط الجديد أي لطور الكمون . عند درجة حرارة منخفضة يستمر طور الكمون ، لفترة أخرى ، يعتمد المدى الذي يجب أن تنخفض إليه درجة الحرارة التي تؤثر على النمو البكتيري على نوع الكائنات الموجودة .

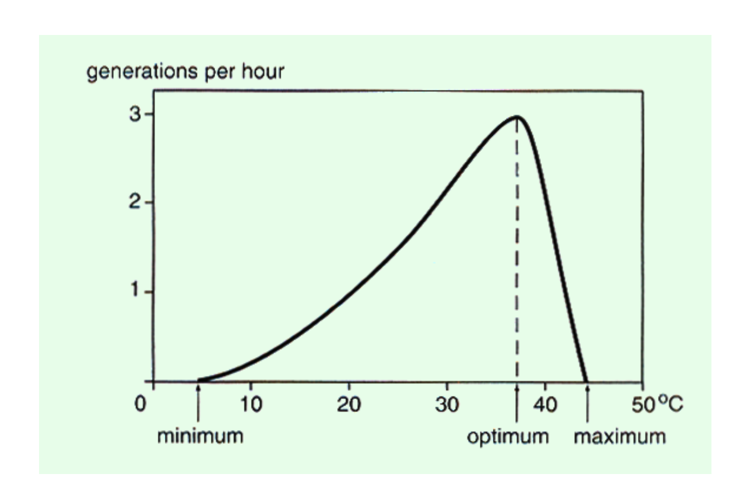
يقدم الجدول 2.5 بعض الأمثلة لتأثير درجة الحرارة على وقت جيل البكتيريا ، وتوضح كذلك أن بكتيريا حامض اللاكتيك سوف لا تفسد اللبن البارد المخزن . وتنمو عند درجة 30 درجة مئوية بكتيريا بسودوموناس أكثر بطئاً من البكتيريا الأخرى . اعتماد معدل نمو على درجة

الحرارة له نتائج على المحافظة على نوعية اللبن ، كما هو موضـــح في جدول 3.5 عند درجة حرارة تخزين عالية ، يحتفظ اللبن بقدرة منخفضـــة على الحفاظ بنوعيته حتى لو كان العد البكتيري الأولي منخفضاً ، ويجب أن يتم تصنيعه في خلال ساعات قليلة بعد الإنتاج .



شكل 3.5 منحنى النمو لمزرعة بكتيرية

Figure 5.3 Growth curve of a bacterial culture



شكل 4.5 استجابة نمو البكتيريا إيشريشيا كولاي لتغيرات درجة الحرارة

Figure 5.4 The response of the growth of *Escherichia coli* to changes in temperature

يوضـــح شـــكـــل 5.5 أن العـد البكتيري الأولي المنخفض ودرجـة حرارة حفظ اللبن المنخفضــة تكون أســاســية . ســواء حفظ اللبن عند درجة حرارة منخفضــة أو مرتفعة ، فإن عـداً بكتيرياً أولياً منخفضـــاً يعني أن اللبن ســـوف يأخـذ وقتاً أطول قبـل أن يفســـد طبيعياً . ويفضـــل العـد البكتيري الابتـدائي المنخفض والحفظ في درجـة حرارة منخفضـــة . من المهـم أن نلاحظ أن حفظ اللبن الخـام لعـدة أيـام ، يمكن أن يكون نوع التلوث أهم للغـايـة من العـد الكلي ، فمثلاً التلوث بواســـطـة 10^5 بكتيريـا التهـاب الضـــرع لكـل ميليلتر من اللبن لـه تـأثير أقـل على الاحتفـاظ بـالنوعيـة عنـد درجـة حرارة منخفضـــة عن التلوث بـــــ 10^3 مليلتر$^{-1}$ من البكتيريا المحبة للبرد ***Psychrotrophs*** . هـذه الجوانـب يتم شـــرحها في شكل 6.5 .

إن نمو الكائنات الدقيقة في اللبن الخام عادة ما يكون غير مرغوب فيها من كل المعاملات المعروفة لتقليل نمو الكائنات الدقيقة في اللبن الخام ، انخفاض درجات الحرارة هي الأكثر جدوى . تقتل المعاملات الحرارية البكتيريا (تحت فصل 3.3.7) .

يحتوي اللبن على بعض مثبطـات النمو الطبيعي (تحـت فصـــل 6.1.5) ولكن إضـافة المثبطات البكتيرية إلى اللبن عادة لا يسـمح بها بواسـطة مسئولي الصـحة العامة . ولكن في بعض البلاد الاســتوائية درجات الحرارة والمســتويات الصــحية الفقيرة هي الســمة الغالبة ، ولكي نحافظ على اللبن في صـــورة جيدة ، حيث متى وأين نحتاجه للتصـــنيع ، فإن إضـــافة المثبطات البكتيرية يبدو أنه لا يمكن تجنبها . يمكن تحمل اســتخدام فوق أكســيد الهيدروجين تحت ظروف معينة . إن حفظاً جيداً يمكن أن نحصـل عليه من تنشـيط جهاز اللاكتوبيروكسـيديز–ثيوسـيانيت– فـوق أكســـيـد الهـيـدروجـين ***Lactoperoxidase-thiocyanate-*H_2o_2*-system*** (تحـت فصل 6.1.5) .

جدول 2.5 وقت الجيل (h) لبعض مجاميع من البكتيريا[a] في اللبن (لا تشمل على طول الكمون[2])

Table 5.2 Generation Time (h) of Some Groups of Bacteria[a] in Milk (Not including the lag phase)[b]

30	15	5	Temperature (°C) درجة الحرارة
0.5	2.1	>20	Lactic acid bacteria
0.7	1.9	4	Pseudomonads
0.45	1.7	8	Coliforms
0.5	3.5	>20	Heat-resisant streptococci
0.45	1.9	18	Aerobic sporeformers

a في هذه المجاميع من البكتيريا يختلف وقت الجيل بصورة واسعة بين الأنواع والسلالات ، هذه القيم تكون للمثلين الأسرع نمو عند درجة الحرارة المذكورة .

b أمثلة تقريبية .

a Within these groups of bacteria, generation time varies widely among species and strains. The values mentioned are approximately true for the fastest-growing representatives at the given temperatures.

b The lag phase in not included in the figures given.

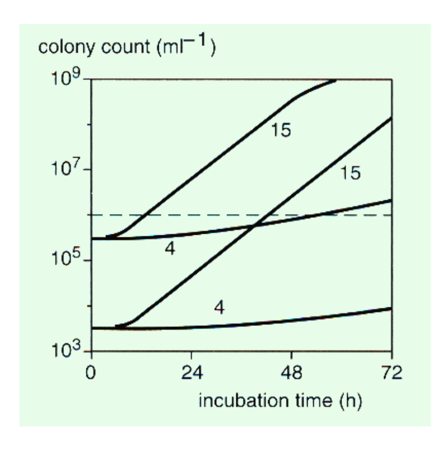
جدول 3.5 أمثلة تقريبية لتأثير درجة حفظ اللبن على عده البكتيري بعد 24 ســـاعة ، وعلى حفاظه على نوعيته (العد الابتدائي 2.3×10^3 مليلتر$^{-1}$)

Table 5.3 Approximate Example of the Effect of the Keeping Temperature of Raw Milk on Its Count after 24 h, and on Its Keeping Quality (Initial Count 2.3×10^3 ml^{-1})

يحفظ اللبن في درجة حرارة Milk held at (°C)	العد بعد 24 ساعة Count after 24 h (ml^{-1})	الحفاظ على النوعية Keeping quality[1] (h)
4	2.5×10^5	>100
10	1.2×10^4	89
15	1.8×10^5	35
20	4.5×10^6	19
30	1.4×10^9	11

a. يعرف الحفاظ على النوعية هنا بوقت التخزين الذي أثنائه يبقى اللبن صـــالحاً للتصـــنيع (العد البكتيري لا يتجاوز 1.0×10^6 مليلتر$^{-1}$) .

a Keeping quality is defined here as the storage time during which milk remains suitable for processing (count not exceeding 1×10^6 ml^{-1})



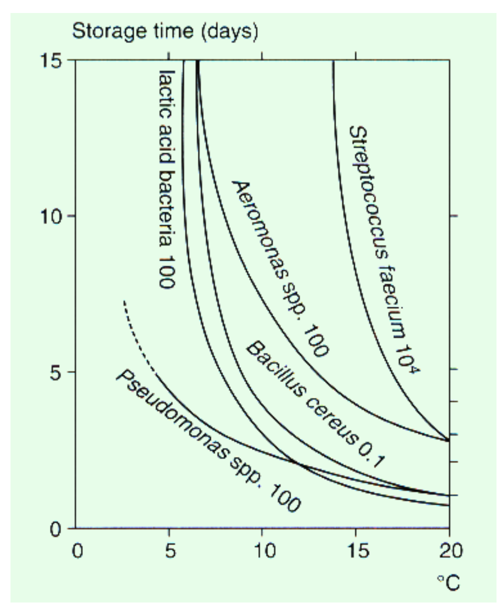
شكل 5.5 تغير العدد البكتيري للمستعمرة أثناء حفظ عينتين للبن ذا عد ابتدائي ، عند درجتي حرارة 4 و 5 ، درجة مئوية ، أمثلة تقريبية . الخطوط المتقطعة تحدد العد الحرج الذي يحدث فيه فساد اللبن عادة

Figure 5.5 Change of colony count during the storage of milk of two initial counts at two temperatures (4 and 15°C). Approximate examples. The broken line marks the critical number of counts in which spoilage generally becomes manifest

6.1.5 اللبن كمادة خاضعة (بادئة) للكائنات الدقيقة

Milk as a Substrate for Microorganisms

يناقش هذا التحت فصـل تأثير خصـائص اللبن والمنتجات اللبنية على النمو والتأثير الأيضـي للميكروبات ، ويكون هذا إلى حد ما غاية في التبسيط لأن المنتجات اللبنية تكون نظاماً أيكولوجياً . وبمعنى آخر يحدد التفاعل المتبادل بين البكتيريا والوسط ماذا سوف يحدث ؛ الفعل البكتيري يؤثر على البيئة ويحدد الأخير أي نوع بكتيري يمكن أن يتكاثر . تشـمل البيئة خواص المادة البادئة (أي اللبن أو مشـتقـه) وخـارج الظروف ومنهـا درجـة الحرارة وهي أهم متغير ، يمكن أن تختلف العشـيرة البكتيرية بصـورة كبيرة ، يكون اللبن الخام الذي يترك على اتصـال بالعالم الخارجي نظاماً أيكولوجياً مفتوحاً ، وغالباً أي بكتيريا يمكن أن توجد ، وخواص اللبن ودرجة الحرارة تحدد أي بكتيريا سـوف تسـود . تكون منتجات لبنية كثيرة نظاماً أيكولوجياً مغلقاً أو متحكماً فيه . وتعتمـد التغيرات الميكروبيـة التي تحـدث كثيراً على تلوث خـاص بواسـطـة البكتيريـا



شكل 6.5 الوقت اللازم للوصول لعد بكتيري قدره 10^6 لكل مليلتر عندما يحفظ اللبن الخام عند درجات حرارة مختلفة . البكتيريا وعددها الابتدائي (مليلتر$^{-1}$) تم توضيحها . أمثلة تقريبية ، ويقصد بها فقط توضيح الاتجاه

Figure 5.6 Time needed to reach a count of 10^6 ml^{-1} bacteria when keeping raw milk at various temperatures. The bacterium considered and its assumed initial count (in ml^{-1}) are indicated. These are approximate examples meant to illustrate trends

الموجودة . ليس نوع وعدد البكتيريا فقط ولكن أيضـاً ظروفها الفسـيولوجية مثل طور النمو يكون غاية في الأهمية (شـكل 3.5) ، ويكون للوجود المحتمل للمتهمات البكتيريا *Bacteriophages* ، تأثير مختلف عادة على النمو والتخمر ، وفي حالة أنواع معينة عالية التجرثم ، تكون الظروف التي تسـمح بالنمو أكثر تعقيداً عن تلك الخاصـة بالتخمر ، فمثلاً لا تنمو بكتيريا حامض اللاكتيك عديدة بالقرب من 5 درجة مئوية ولكن ظروفاً أخرى تكون مناسـبة للنمو ، ويمكن أن تنتج الظروف المسـببة للتجرثم حامض لاكتيك من اللاكتوز . عندما يكون ممكناً نمو وتخمر البكتيريا الناشئة تكون عادة عاملاً محدداً (تحت فصل 1.3.5) .

يحتوي اللبن على مدى واسع من المواد المغذية ، والتي تشمل جميع الفيتامينات ، التي تجد أنواع عديدة من البكتيريا فيها مواد خام كافية للتخمر والنمو . تكون النتيجة معروفة جيداً : يفسد اللبن الخام بسرعة في درجة حرارة الغرفة . لأن البكتيريا التي يمكن أن تنمو في اللبن يمكن أن يكون لها خصائص كثيرة مختلفة ، ويجب مراعاة الحرص والحذر عند تطبيق قواعد عامة . لأن بعض البكتيريا لا تعتبر اللاكتوز مصدراً مناسباً للطاقة . ويعتمد البعض على الأحماض الأمينية الحرة كمصدر نيتروجيني ، ويحتوي اللبن الطازج فقط على كميات بالغة الصغر من الأحماض الأمينية . وبالتالي مثل هذه البكتيريا عادة تبدأ في النمو بعد بكتيريا أخرى لديها بروتينات محللة مائياً ، وبذلك تقدم المواد الغذائية المناسبة لها . مثال آخر هو إنتاج ثاني أكسيد الكربون بواسطة ستريتوكوكس لاكتيس *Streptococcus lactis* ، التي تحفظ نمو بعض بكتيريا اللاكتوباسيللي *lactobacilli* . (وفي جانب آخر يتم تثبيط بعض البكتيريا سالبة الجرام بواسطة ثاني أكسيد الكربون) . تحتاج بعض البكتيريا مكونات نادرة خاصة للنمو والتخمر والتي تكون غائبة أو موجود بتركيزات غير كافية .

يمكن أن تكون بعض الظروف في اللبن غير ملائمة لنمو بعض البكتيريا . تم ذكر احتمال نقص المواد المغذية . ليس للنشاط المائي والقوة الأيونية للبن حدود ، وكذلك للأس الهيدروجيني لكائنات قليلة . ولكن قدرة الأكسدة- الاختزال *redox* والضغط الأكسجيني تكون غير مناسبة لنمو البكتيريا اللاهوائية ، يعتمد نمو البكتيريا الهوائية أيضاً على موقعها . يمكن أن يكون ضغط الأكسجين في طبقة القشدة أعلى ، بالقرب من قاع إناء عميق مملوء باللبن في درجة حرارة الغرفة ، عادة ما يخفض النشاط البكتيري مستوى الأكسجين والأس الهيدروجيني . تكون الظروف في اللبن لكائنات دقيقة قليلة جداً ، غير مناسبة لدرجة أن تقتلها .

يحتوي اللبن على مثبطات طبيعية ، لا تنمو بعض البكتيريا في اللبن بالرغم من وجود مواد غذائية كافية وظروف مناسبة . إن طور السكون في النمو بعد إضافة البكتيريا إلى اللبن ليس إثباتاً

لعملية التثبيط ، ويمكن ألا تكون البكتيريا متأقلمة للعيش في اللبن (أي يجب عليها تغيير نظامها الإنزيمي قبل أن تستطيع استخدام المواد الغذائية المتاحة) .

طائفة هامة من المثبطات هي الجلوبيولينات المناعية (تحت فصل 3.4.2) وهي أجسام مضادة *Antibodies* ضد أنتيجينات معينة *Antigens* عادة ما تكون بكتيريا . وعلى ذلك فإنها تكون خاصة لأنواع وسلالات البكتيريا التي تواجه البقرة ، بينما لا تثبط بكتيريا أخرى . يمكن أن يحتوي اللبن المخلوط على جلوبيلينات مناعية نشطة ضد سلالات واسعة من البكتيريا ، ولكن يكون التركيز دائماً منخفضاً . وعلى ذلك ، أمثلة للتثبيط بواسطة الجلوبيلينات المناعية *IgG* و *IgA* (غالباً ما يكون بالتعاون مع المكملة *complement*) في اللبن تكون معروفة ، يكون التأثير الملزن للجلوبيلينات المناعية *IgM* أكثر روعة وبروزاً . هناك أجلوتينين يعمل ضد سلالات بكتيريا ستريبتوكوكس بيوجينيس ***Sreptococcus pyogenes*** وأجلوتينين آخر ضد سلالات مثل لاكتوكوكس لاكتيس ***Lactococcus lactis*** *ssp. Lactis and cremoris* . تظهر عادة باسيلليس سيريس ***Bacillus cereus*** أيضاً تلزناً في اللبن الخام منخفض البسترة .

يعني التلزن *Agglutination* أن البكتيريا تقابل بعضها البعض طبقاً لحركتها البروتينية وتتجمع معاً في ندف *floccules* كبيرة بواسطة خاصية التصاق الأجلوتينين . يمكن أن تصبح الندف كبيرة لدرجة أنها تترسب مزيلة البكتيريا من أغلب اللبن . وتستطيع البكتيريا أيضاً أن تلتصق بواسطة الأجلوتينينات بكريات الدهن إذا كانت درجة الحرارة منخفضة . ثم الأجلوتينين البارد والتقشيد السريع لكريات الدهن (تحت فصل 4.2.3) يسبب إزالة سريعة للبكتيريا من أغلب اللبن ، لا تُقتل الكائنات ولكن تكون ممنوعة من النمو بسبب محدودية المواد المغذية وتراكم المواد الأيضية المثبطة في الطبقة المرسبة للندف . تتركز هذه المواد في طبقة القشدة ويمكن أيضاً أن تثبط بواسطة ضغط الأكسجين العالي . إذا تم إعاقة التلزن ميكانيكياً ، أي عندما يُنفح اللبن مباشرة بعد إضافة البادئ (تصبح البكتيريا الآن محاصرة في ثغور الشبكة شبه الكازينية *Paracaseinate network*)

. ويكون التثبيط غير معنوي . يختلف محتوى الأجلوتينات في اللبن اختلافاً كبيراً ، وعادة ما يكون باللبأ تركيزات عالية نسبياً .

تكون بعض المثبطات البكتيرية غير المتخصصة ليسوسومات ولاكتوفيرين ، ولكن تكون تركيزاتها في لبن الأبقار منخفضة لدرجة أن تأثيرها يكون منخفضاً للغاية . يحتوي لبن الإنسان على تركيزات أعلى ، الليسوسوم هو إنزيم (انظر 17.1.2.3) تحلل السكريات العديدة لجدار خلية البكتيريا . يربط اللاكتوفيرين الحديد ، وبذلك يختزل نشاط أيونات الحديدوز Fe^{+2} والتي تحتاجه بكتيريا عديدة ، ومن المحتمل أن تحدث بعض شظايا اللاكتوفيرين المنتجة بواسطة التحلل البروتيني بعض الأنشطة المضادة للميكروب .

المثبط غير المتخصص الأكثر أهمية في اللبن هو جهاز فوق أكسيد الهيدروجين– ثيوسيانيت بيروكسيديز ، والذي يكون أيضاً نشطاً في اللعاب ، إنزيم اللبن لاكتوبيروكسيديز (تحت فصل 1.2.5.2) الذي لا يسبب تثبيطاً ولكن يحفز أكسدة الثيوسيانات ***SCN*** بواسطة فوق أكسيد الهيدروجين ، وواحد من المواد الوسطية ($OSCN^-$) هو قاتل قوي للبكتيريا ، يحتوي اللبن على بيروكسيديز كاف ، حوالي 0.4 ***uM*** . محتوى الـ SCN^- يكون متغيراً (اعتماداً على العلف ، وهو مشتق من جليكوزيدات من أنواع الـ ***Brassica*** و ***Raphanus*** وعادة ما تتراوح بين 0.02 و 0.25 ***mM*** . إذا كان التركيز 0.25 ***mM*** فإن SCN^- تكون في اتصال مع البيروكسيديز وتصبح نشطة ضد بكتيريا كثيرة والتي ليس لها كاتاليز ، وعلى ذلك تنتج فوق أكسيد الهيدروجين (مثل كل بكتيريا حامض اللاكتيك ، بالرغم من أن بعضاً منها تمتلك أجهزة إنزيمية تقوم بأيض فوق أكسيد الهيدروجين ، لذلك فإنها لا تثبط أو تكون أقل تثبيطاً) . لا يحتوي اللبن الطازج فوق أكسيد الهيدروجين ، ولكن إذا أضيف قليل منها ولنقل 0.25 ***mM*** (أي بكميات قليلة لكي تكون نشطة ضد البكتيريا أو تسبب عيوب أكسدة) ، يثبط الجهاز أيضاً كائنات موجبة للكاتاليز مثل أغلب البكتيريا سالبة الجرام . إذا كانت SCN^- موجودة أيضاً (أما طبيعياً أو مضافاً) تنتج عن ذلك حفظ مؤثر ، وحتى في اللبن عالي التلوث يمكن أن يمنع النمو البكتيري لمدة 24 ساعة عند

درجة حرارة 15 درجة مئوية ، تؤدي إضـافة بعض إنزيم جلوكوز أوكسـيديز (انظر 5/4.3.1.1) إلى تكون فوق أكسـيد الهيدروجين أيضـاً ، ويمكن أن يحدث إنزيم اللبن الطبيعي زانتين أوكسـيديز نفس التـأثير تحـت ظروف معينـة (انظر 22.3.1.1) . لا يتـدخـل محتوى الكـاتـاليز الطبيعي (انظر 6.1.11.1) في اللبن مع النظام حتى إذا كان عالياً (بسـبب عدد الخلايا الجسـمية العالي) ، ومع ذلك يكون التأثير المثبط في اللبن متغيراً تماماً ، وذلك لأن محتوى الثيونيانات يكون عالياً . ويمكن أن تدخل المثبطات عن طريق التلوث . وهذا يكون غير مرغوب فيه ، ليس بسـبب التخمر الذي يمكن أن يكون ضـعيفاً ولكن لأن هذه المواد يمكن أن تكون ضـارة بصـحة المسـتهلك . يمكن أن تكون مضادات حيوية مثل البنسلين موجودة في الضرع لمعالجة الالتهاب . ويمكن أن توجد في اللبن لحوالي 3 أيام بعد الحقن بالبنسلين . وخاصة تكون بعض بكتيريا حامض اللاكتيك حساسة لهذه المضـادات الحيوية . تسـتخدم المطهرات لمعاملة عملية الحلب أو معدات التصـنيع يمكن أن تلوث اللبن بسـهولة ، ثم تثبط أو حتى تقتل البكتيريا . وفي بعض البلدان يمكن أن يضـاف فوق أكسـيد الهيدروجين إلى اللبن الخام كمادة حافظة (10-15 *mM*) وتزال بواسطة إضافة الكاتاليز قبل تصنيع اللبن .

يمكن أن تغير معاملة اللبن بقوة من صـلاحيته كمادة خاضـعة (بادئة) للبكتيريا . تكون المعاملة الحرارية أكثر أهمية (باب 7) والتي تقتل البكتيريا ويمكن أن تنشـط التجرثم ***Sporulation*** ولكن ذلك يغير اللبن أيضـاً . تكون المثبطات غير منشـطة ، ويتعلق هذا بالجلوبيلينات المناعية (إذا تم تسخينها لدرجة 76 مئوية لمدة 20 ثانية) وإلى جهاز لاكتوبيروكسيديز (لمدة 20 ثانية عند درجة 85 مئوية) ويمكن بالتالي أن تحفز البسـترة نمو البكتيريا (التي قد تدخل اللبن بعد ذلك) ، كلما ارتفعت شدة التسخين لحوالي 20 ثانية عند درجة حرارة 85 درجة مئوية ، يمكن أن يؤدي التسخين الشديد إلى تكوين محفزات مثل حامض الفورميك لبكتيريا لاكتوباسيللي معينة . انظر الجزء 3.3.6 .

يبدو أن التجنيس يثبط الأجلوتينينات ، ولكن عادة ما يستخدم للبن الذي سبق تسخينه إلى درجة يكون فيها الأجلوتينينات غير نشطة إلى حد ما .

يسبب التخمر بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك تكون حامض اللاكتيك ، وهذا مثبط مؤثر لبكتيريا كثيرة إذا لم تكن مرتبطة مع بعضها . و *pk* لها يكون حوالي 3.95 والذي يفهم ضمناً أن التثبيط يكون قوياً عند الأس الهيدروجيني المنخفض ، ونادراً ما تستطيع بكتيريا النمو في لبن أسه الهيدروجيني أقل من 4.5 بواسطة حامض اللاكتيك ، ولكن بعض الخمائر والفطريات تستطيع. البكتيريا أيضاً تكون قادرة على إنتاج مواد مثبطة أخرى مثل حامض الخليك ومضادات حيوية . بعض سلالات اللاكتوكوكس لاكتيس ***Lactococcus lactis*** *ssp.* ***Lactis*** تنتج مضادات حيوية قوية (*Nisin*) .

يحدث التخمر تغيرات درامية في التركيب ، يمكن أن تكون تغيرات أخرى مؤثرة في تثبيط البكتيريا ، تستطيع ظروف أن تجعل الوسط لاهوائياً بالكامل . يمكن أن يخفض النشاط المائي نشاط البكتيريا لدرجة أنه لا تستطيع النمو (جزء 1.9) كما في مسحوق اللبن (بإزالة الماء) وفي اللبن المكثف المحلى (بإضافة السكر) . للملح المضاف إلى الجبن تأثيراً مشابهاً ويزيد أيضاً من القوة الأيونية . عادة ، عندما يجتمع نقص المواد الغذائية المناسبة مع ظروف غير مناسبة وعوامل مثبطة تؤدي إلى منع النمو . ويكون هذا صحيحاً في أنواع كثيرة من الجبن (عدم وجود سكر ، معدل منخفض للأكسدة ، الاختزال ، درجة حرارة غير عالية ، ملح مرتفع ، أس هيدروجيني منخفض ، حامض لاكتيك) .

2.5 كائنات دقيقة غير مرغوب فيها *Undesirable Microorganisms*

إن أغلب الكائنات الدقيقة غير مرغوب فيها في اللبن ، لأنها يمكن أن تكون ممرضة أو منتجة لإنزيمات تسبب تحولات غير مطلوبة في اللبن . تدخل كائنات دقيقة ممرضة اللبن تكون

ضارة بصحة الإنسان والحيوان ، تقسم مسببات أمراض الإنسان إلى تلك المسببة للغذاء الممرض والمحدثة للتسمم الغذائي .

يعني الغذاء الممرض *Food infection* أن الطعام أي اللبن يعمل كحامض للكائنات الدقيقة التي تدخل جسم الإنسان من خلال اللبن ، ولذلك يصبح الإنسان مريضاً ، عادة ليس قبل يوم أو أكثر من شرب اللبن . في التسمم الغذائي ، يمكن أن تكون أعداد قليلة من الكائنات الدقيقة كافية لإحداث الأمراض حسب نوع المسبب المرضي الموجود . عادة تستطيع أي بكتيريا ممرضة أن توجد في اللبن بأعداد قليلة ، ولكن إذا لم تنمو في اللبن ، فإنه من غير المحتمل أن تسبب مرضاً .

تكون الكائنات الدقيقة في التسمم الغذائي سموماً في الغذاء (يلوث هذا السم الغذاء بواسطة طريق آخر) . يقع المستهلك مريضاً بسرعة ، تكون أعداد كبيرة من الكائنات الدقيقة الممرضة عادة مطلوبة لإحداث التسمم الغذائي . يجب أن تكون كمية السم المنتجة كافية لإحداث الأعراض المرضية . لا يشبه التسمم الغذائي الغذاء الممرض ، لا يضمن أن الكائن الدقيق الممرض مازال موجوداً في الغذاء . تكون بعض السموم مقاومة للحرارة عن الكائنات الدقيقة المنتجة للسم مثل أجناس ستافيلوكوكس ***Staphylococcus*** *spp.* .

لا تفسد الكائنات الدقيقة غير الممرضة في حد ذاتها نوعية اللبن ، تحتاج هذه الكائنات مواد مغذية والتي تحصل عليها بواسطة إنتاج الإنزيمات لإنتاج مركبات مناسبة لنموها . تسبب هذه التحولات تكون نكهة غير مرغوب فيها في اللبن ، والذي يصبح غير مناسب لتصنيع لبن للبيع بالتجزئة والمنتجات اللبنية ، وذلك لنقص الثبات الحراري للبن . وبالإضافة إلى ذلك لا تحطم أغلب العمليات الحرارية المستخدمة في صناعة الألبان جميع الكائنات الحية أو جميع الإنزيمات الميكروبية .

سوف تناقش بعض الكائنات الدقيقة الممرضة والمسببة لفساد اللبن باختصار ، يعطي الجدول 4.5 مسحاً للكائنات الدقيقة الهامة لسلامة اللبن والمنتجات اللبنية .

1.2.5 الكائنات الدقيقة الممرضة *Pathogenic Microorganisms*

سوف تناقش بعض المسببات المرضية الهامة للبن والمنتجات اللبنية في هذا التحت فصل (انظر أيضاً فصل 8.25) . لا ينمو المسبب المرضي عادة جيداً في اللبن ، بعكس الكائنات الدقيقة المفسدة له (تحت فصل 2.2.5) . ويمكن أن يعمل اللبن كحامل للمسببات المرضية . في بلاد كثيرة تكون الحالة الصحية للبن بالنسبة لهذه الكائنات الدقيقة مرضية . إلا أن العدوى الناتجة من تناول لبن خام موجودة وخاصة في البلاد الاستوائية وشبه الاستوائية ، حيث يمكن أن تكون احتمالات الإصابة بالعدوى أكبر . عادة شرب اللبن الخام *Raw milk* لا ننصح به .

يعطي الجدول 4.5 مسحاً للكائنات الدقيقة الممرضة المتعلقة باللبن والمنتجات اللبنية .

توجد أنتيروباكتيرياسي *Enterobacteriaceae* بصورة واسعة في الطبيعة ، أي في الروث والمياه الملوثة ، تنتمي كوليفورم *Coliforms* إلى هذه العائلة ومن القاطنين العاديين لأمعاء الحيوان والإنسان ، وتشمل العائلة إيشيريشيا كولاي *Echerchia coli* وهي بكتيريا عصوية سالبة الجرام *Gram-negative rod* والتي تكون لا هوائية اختيارية وتخمر اللاكتوز .

تسبب بعض سلالات هذه البكتيريا أمراضاً معوية ومن بينها البكتيريا المعروفة أيشيريشيا كولاي $O_{157} : H_7$ والتي يمكن أن تسبب الإسهال المدمم . تنتمي سالمونيلا وشيجيللا أيضاً إلى هذه العائلة ويمكن أن تسبب اختلالات معوية . يرسينيا إنتيروكوليتيكا *Yersinia enterocolitica* هي بكتيريا معوية محبة للبرودة وعضو في هذه العائلة ويمكن أن تسبب التهابات معوية تشبه الزائدة الدودية . البسترة المنخفضة كفيلة بقتل بكتيريا هذه العائلة . لم تُتهم اللبن والمنتجات اللبنية أبداً بالتسمم الغذائي .

من بين البكتيريا سالبة الجرام الأخرى بعض مسببات الأمراض المعروفة ، إيروموناس هيدروفيلا *aeromonas hydrophila* وهي بكتيريا انتهازية *Opportunistic* توجد في روث الحيوانات السليمة . تنمو هذه البكتيريا في درجات حرارة منخفضة وفي وسط غذائي يحتوي على 5% أملاح . قد وجدت بريسيللا أبورتيس *Brucella abortus* في اللبن وهي ممرضة للإنسان والحيوان ، وهي السبب الرئيسي في الإصابة بالحمى المتموجة *Brucellosis* . تنتمي

جدول 4.5 مجموعات مسببات أمراض للإنسان من المحتمل وجودها في اللبن والمنتجات اللبنية

Table 5.4 Groups of Human Microbial Pathogens Possibly Occurring in Milk and Milk Products

المرض disease	الكائن الحي Organism	
	Enterobacteriaceae	أنتيروباكتيرياس
Gastroenteritis اضطرابات معديمعوية	*Escherichia coli*[a]	إشيريشيا تولاي
typhoid fever اضطرابات معوية ، حمى التيفود	*Salmonella*	سالمونيللا
Gastroenteritis اضطرابات معوية	*Shigella*	شيجيللا
Gastroenteritis اضطرابات معوية	*Yersinia enterocolitica*[b]	يرسينيا إنتيروكوليتيكا
	Other Gram-negative bacteria	بكتيريا سالبة الجرام أخرى
Gastroenteritis اضطرابات معوية	*Aeromonas hydrophila*[b]	أيروموناس هيدروفيلا
Brucellosis (abortion) الحمى المتموجة (إجهاض)	*Brucella abortus*	بريسيللا أبورتيس
Gastroenteritis اضطرابات معوية	*Campylobacter jejuni*	كامبيلوباكتير جيجيني
	Gram-positive spore formers	بكتيريا مكونة لجراثيم موجبة الجرام
Intestinal intoxication تسمم معوي	*Bacillus cereus*[a,b]	باسيلس سيريس
Anthrax الجمرة	*Bacillus antriracis*	باسيلس أنتراسيس
Gastroenteritis اضطرابات معوية	*Clostridium perfringens*	كلوستريديم بيرفرينجينز
Botulism تسمم	*Clostridium botulinum*	كلوستريديم بوتيلينيم
	Gram-positive cocci	كوكي موجبة الجرام
Emetic intoxication	*Staphylocococcus aureus*[a]	ستافيلوكوكيس أيريس
Sore throat تسمم مقيئ	*streptocococcus agalactiae*[a]	ستافيلوكوكيس أجالاكتي
Scarlet fever, sore throat الحمى القرمزية ، تقرح الزور	*Streptococcus pyogenes*	ستربتوكوكس بيوجينس
	Miscellaneous Gram-positive bacteria	بكتيريا متنوعة موجبة الجرام
Tuberculosis مرض السل	*Mycobacterium tuberculosis*	ميكوباكتيريم تبيركلوزيس
Tuberculosis مرض السل	*M. bovis*	م . بوفيس
مرض جونز (الحيوانات المجترة فقط) Johnes disease (only ruminants)	*M. paratuberculosis*	م . باراتيبيركلوزيس
Diphtheria الدفتيريا	*Corynebacterium* spp.	كورنيباكتيريم
Listeriosis	*Listeria monocytogenes*[b]	ليستيريا مونوسيتوجينيس

سبيروكيتيس	Spirochetes	
ليبتوسبيرا إنتيروجانز	*Leptospira interrogans*	Leptospirosis
ريكتسيا	Rickettsia	
كوكسيلا بيرنيتي	*Coxiella burnetii*	Q fever Q حمى
الفيروسات	Viruses	
أنتيروفيروس *Enterovirus* ، روتافيروس *rotavirus*		Enteric infection إصابة معدية
الفطريات	Fumgi	
الأعفان	Molds	Mycotoxicosen التسمم الفطري
الحيوانات الأولية	Protozoa	
أنتاميبا هيستولتيكا	*Entamoeba histolytica*	Amoebiasis دوسنتاريا معوية
كريبتوسبوريديم	*Cryptosporidium muris*	Cryptosporidiosis
تكسوبلازما جوندي التسمم الفطري	*Toxoplasma gondii*	Toxoplasmosis التكسوبلازما

a تنمو جيداً في اللبن .

b سلالات بكتيرية محبة للبرد .

a Grows well in milk.
b Psychrotrophic strains known.

كامبيلوباكتر جيجيني *Campylobacter jejuni* إلى العائلة سبيريللاسي *Spirillaceae* ويمكن أن توجد في المجرى المعوي لكثير من الحيوانات . س . جيجيني *C. jejuni* هي المسبب للاضطرابات المعدية والمعوية والإسهال وتقلصات وألم في البطن هي الأعراض الأساسية للمرض . في كل هذه الحالات اللبن هو عادة الملوث بهذه البكتيريا المنقولة إليه من الروث . ولأنها تكون حساسة جداً للحرارة ، فإن هذه البكتيريا لا تستطيع البقاء حية في اللبن منخفض البسترة . وهي تموت بسرعة في الجبن ، بسبب الأس الهيدروجيني المنخفض وتم بالإضافة إلى ذلك تسجيل انتشار وتفشي بكتيري Outbreaks في اللبن الخام .

البكتيريا المكونة للجراثيم موجبة الجرام المنتمية لعائلة باسيللاسي *Bacillaceae* فيها الجنسان الأكثر أهمية هما باسيللس *Bacillus* وكلوستريديم *Clostridium* . جراثيمهما

تجعلهما مقاومة للحرارة وعوامل مخربة أخرى ، باسـيلي سـيريس *Bacillus cereus* هي بكتيريا شائعة في التربة وغالباً ما توجد في اللبن . بعض السلالات محبة للبرودة وتستطيع النمو عند درجة 7 مئوية . ب . سـيريس *B. cereus* قادرة على إنتاج سموم *Enterotoxins* التي تسـبب تسـمم الغذاء . إلا أن أعداد كبيرة منها يتطلب وجودها قبل أن يصـبح اللبن سـاماً . سـوف يكون اللبن عند هذه النقطة فاسـداً بوضـوح ، لدرجة أنه لا يصـلح للشـرب أو لعمل منتجات لبنية، وعلى ذلك فسوف يكون التهديد الصحي محدوداً ، وتكون خطورة بعض المنتجات اللبنية النشوية أكبر ، لأن فسادها يكون من الصعب ملاحظته . والتسخين لدرجة حرارة فوق 100 درجة مئوية لمدة لا تقل عن 5 دقائق يقتل جراثيم باسـيلس سـيريس *B. cereus* والتي تتبع للباسـيلس الأقل مقاومة للحرارة . باسيلي ممرضة معروفة أخرى هي باسيلس أنثراكيس *B. anthracis* والتي تسبب الجمرة الخبيثة أولاً في الحيوانات ، ولأن هذا المرض يكون غائباً عملياً في قطعان اللبن ، فإن اللبن لا يحتمل أن يكون حاملاً لهذه الجراثيم والتي يمكن أن تدخل إلى جسـم الإنسـان من خلال تقرحات في الجلد .

من مسببات الأمراض اللاهوائية الكلوستريديم بيرفرينجينز *Clostridium perfringens* المنتجة للسـم أثناء عملية التجرثم في القناة الهضـمية ، وبالرغم من أن الجراثيم تكون عادة موجودة في اللبن الخام من خلال تلوثها عن طريقة التربة ، الغبار أو الروث ، فإن اللبن أو المنتجات اللبنية لم تكن أبداً السبب في التسمم الغذائي بواسطة هذه البكتيريا ، ويرجع السبب في ذلك إلى حقيقة أن هذه البكتيريا يقل عددها بواسـطة البكتيريا الأخرى الموجودة في اللبن الخام ، وأعداد كبيرة من الخلايا الخضـرية للبكتيريا تكون ضـرورية لحدوث المرض . ولأن الرضـع والأطفال يكونون أكثر حساسية لهذا الكائن عن الكبار ، فإن اللبن المخصص لتصنيع صيغ لبن الأطفال يجب تسخينه لدرجة كافية .

يقتل التعقيم المستخدم في مصانع الألبان كلوستريديم بيرفرينجينز *C. perfringens* نوع آخر من الباسيليس وهو كلوستريديم بوتيلينيم *C. botulinum* يوجد أحياناً في التربة وعلى سطح

الماء ، ويسـبب التسـمم botulism والذي ينتج عن سـم غاية في السـمية يهاجم الجهاز العصـبي ويتكون أثناء نموه في المنتجات الغذائية . لم تتهم اللبن والمنتجات اللبنية أبداً بأنها سـبب اليوتيلزم ومع ذلك فالكلوسـتريدم بوتيلينيم *C. botulimum* يمكن أن توجد في اللبن ، يكون اللبن هوائياً بصـورة كبيرة لكي يسـمح بنمو هذه البكتيريا . يكون أغلب الجبن لا هوائياً وله قدرة أكسدة- اختزال منخفضة ، ولكن لا يحتوي على مصدر كربوني مناسب لهذه البكتيريا أو للبكتيريا كلوسـتريديم بيرفرينجينز *C. perfringens* . يقتل التعقيم الصـناعي المسـتخدم للمنتجات اللبنية مثل اللبن المعقم أو اللبن المبخر أي كلوسـتريديم بوتيلينيم *C. botulimum* موجودة .

سـتافيلوكوكس أوريس *Staphylocococcus aureus* واحدة من البكتيريا موجبة الجرام ، والتي عادة ما توجد في حالة التهاب الضـرع Mastitis . البكتيريا موجودة بصـورة واسـعة في الإنسـان . يمكن أن تكون بعض السـلالات سموماً ثابتة الحرارة وتسـبب التهابات (قرح). أعداد كبيرة من البكتيريا لازمة لتكون السـموم ، يمكن أن يثبط نموها بخفض درجة الحرارة في اللبن أو بواسـطة خفض الأس الهيدروجيني ، وتكوين مكونات مضـادة بواسـطة بكتيريا حامض اللاكتيك ، كما يحدث أثناء تصـنيع الجبن . تقتل البسـترة المنخفضـة *S. aureus* . تحد جميع هذه العوامل من تسمم الغذاء بواسطة *S. aureus* من خلال اللبن والمنتجات اللبنية ، على الرغم من وجود الكائن الحي في اللبن الخام . تنتمي سـتريبتوكوكس اجالاكتي *Streptococcus agalactiae* للمجموعة B سـتريبتوكوكي وتكون مع *S. aureus* عامل هام لالتهاب الضـرع في الحيوانات المجترة . وعلى ذلك فوجودها في اللبن الخام سـبب محتمل للأمراض في الإنسـان . *S. pyogenes* بكتيريا ممرضـة للإنسـان وبعض الحيوانات ، وهي تقاوم البلعمة phagocytosis وتنتج سموماً تسـبب الحمى القرمزية . يقتل كلا النوعين من بكتيريا سـتريبتوكوكي *Streptococci* بواسطة البسترة المنخفضة .

يمكن أن توجد ميكوبـاكتيريم تيبيركيلوزيس *Mycobacterium tuberculosis* في اللبن من الحيوانات المصـابة من خلال إفراز اللبن والتلوث من الروث ، أو من الحلابين والمصـادر البيئية الأخرى ، لا تتضـاعف هذه البكتيريا في اللبن ولكنها تعيش في اللبن المبسـتر والمنتجات اللبنية ، وهي بكتيريا ممرضـة . ميكوباكتيريم ثيبيركلوزيس *M. tuberculosis* هي البكتيريا الأكثر مقاومة للحرارة ، البسـترة المنخفضـة تقتلها أي 15 ثانية عند درجة حرارة 72 مئوية ، يجب أن يتم بسـترة لبن الشـرب لتثبيط إنزيم الفوسـفاتيز القاعدي إلى درجة لا يمكن تقديره والتعرف عليه (تحت فصـل 1.1.16) . يؤكـد تثبيط هـذا الإنزيم قتـل هـذا النوع من البكتيريـا . تسـبـب ميكوبـاكتيريم بـاراتيبيركيلوزيس *M. paratuberculosis* عـدوى الحيوانـات المجترة ، ويعرف هـذا المرض بمرض جونز . ولم يتم بعد حسم عدوى هذه البكتيريا للإنسان .

تم فصـل البكتيريا صولجانية الشـكل كورينيفورم Coryneform من اللبن الخام ، وخاصة في حالات التهاب الضـرع . كورينيباكتيريم بيوجينيز *Corynebacterium pyogenes* واحدة من البكتيريا المسـببة لالتهاب الضـرع والمسـبب الرئيسـي لأعراض مرض شـبيه بالدفتيريا في الإنسـان . ليستيريا مونوسيتوجينيز *Listeria monocytogenes* عادة ما توجد في الطبيعة . ويمكن أن تكون ممرضة للإنسان ، وتسبب الإجهاض والتهاب السحايا في أقصى أشكاله Meningitis . وتسبب في الحيوانات التهاب الضـرع والإجهاض ، وقد تم التعرف على حالات قليلة للتلوث من خلال اللبن ، البكتيريا هوائية وتسـتطيع النمو عند درجات حرارة أقل من 5 درجة مئوية وتقتل بالبسـترة العادية .

يتكون الجنس ليبتوسـبيرا *Leptospira* من عصـى حلزونية مرنة سـالبة الجرام وتنتمي إلى رتبة سبيراكيتاليس *Spirachaetales* . ليبتوسبيرا إنتيرروجانز *Leptospira interrogans* تسبب السفيليس *leptospirosis* في الحيوانات والإنسان . الكلية هي الموطن الطبيعي والتلوث عن طريق البول هو سـبب العدوى . تنتمي كوكسـيللا بيرنيتي *Coxiella burnetii* إلى عائلة ريكيتسـيا Rickettsia وتسـبب الحمى Q في الإنسـان ، ويمكن أن توجد في الأبقار والماعز والأغنام، ويمكن

أن تنقل بواسطة القراد Ticks . ويمكن أن يسبب الكائن الحي التهاب الضرع ، ولكن بعض الحيوانات غالباً ما تكون حاملة للمرض دون أن تمرض ، وبالرغم من أن البكتيريا مقاومة للحرارة ، لكنها تقتل بالبسترة المنخفضة .

الفيروسات متطفلات ضمنخلوية Intracellular ولا تتكاثر في اللبن ، ولكن بعض منها يمكن أن يعيش لمدد طويلة . تكون الفيروسات معدية عند جرعات منخفضة . وتسبب أغلب الأغذية الحاملة للفيروسات التهابات معدية معوية . يمكن أن تنشأ بعضها من البقرة ودخلت اللبن بواسطة التلوث من الروث أو من المياه الملوثة . ممكن أن تثبط الفيروسات بواسطة بسترة اللبن . وهذا صحيح أيضاً للفيروسات المسببة لأمراض الغذاء والفم التي تخص الحيوانات مشقوقة الظلف .

تستطيع أجناس مختلفة من الأعفان مثل اسبيرجيللس Aspergillus وبينسيليوم Penicillium والفيوزاريم إنتاج سموم فطرية Mycotoxins في اللبن والمنتجات اللبنية . هذه السموم الفطرية سامة مسرطنة ، مشوهة ، ومقيئة . تنتج بعض الأسبيرجيللي Aspergilli سموم عندما تنمو في الجبن .

إنتاميبا هيستوليتيكا *Entamaeba histolytica* هي من الحيوانات الأولية التي تسبب الدوسنتاريا الأميبية ، وهو ثالث متطفل مسبب للوفاة في العالم ، ويحدث النقل عن طريق بلع الحوصلات مع الطعام الملوث أو الماء . كريبتوسبوريديم ميريس *Cryptospoidium muris* تسبب مرض Cryptosporidiosis مع إسهال كأعراض أولية للإصابة . تستطيع الأبقار التخلص من بيض *C. mures* مع برازها ، والذي يمكن أن يؤدي إلى تلوث اللبن . شرب اللبن الملوث هو الطريق الشائع لنقل هذا المرض . تكسوبلازما جوندي *Toxoplasma gondii* تسبب إصابة طفيلية في الإنسان وكثير من الحيوانات ذات الدم الحار ، وخاصة ماعز اللبن ، ممكن أن تحدث الإصابة بواسطة الغذاء أو الماء الملوث بالبويضات ، يعتبر اللبن المصاب المصدر المحتمل لإصابة الإنسان بالتوكسوبلازموزيس Toxoplasmosis .

تقتل الأعفان والحيوانات الأولية بالبسترة Pasteurization .

2.2.5 الكائنات الدقيقة المسببة لفساد اللبن ***Spoilage Microorganisms***

اللبن وسط زراعي مناسب لكثير من الكائنات الدقيقة ، ومحاولة مناقشتها جميعاً سوف تكون فوق نطاق هذا الكتاب . ويكفي أن نذكر بعض مجموعات من البكتيريا ، والتي عادة ما تتكون من عدة أجناس ، والتي تكون مسئولة عن نوع معين من التدهور أو تكون مثالية كمصدر للتلوث أو معاملة اللبن .

1.2.2.5 بكتيريا حامض اللاكتيك ***Lactic Acid Bacteria***

تنتج هذه البكتيريا أساساً حامض اللاكتيك من الكربوهيدرات مثل اللاكتوز ، وهي واسعة الانتشار وتشتمل على الجنس لاكتوكوكس *Lactococcus* واللاكتوباسيللس . *Lactobacillus*

Lactococcus lactis spp. Lactis ccemoris تنمو بسرعة في اللبن وخاصة فوق 20 درجة مئوية . ولذلك يتحول اللبن إلى حامض إذا ترك بدون تبريد . وقبل أن يتحول اللبن إلى حامض ويصبح غير ملائم للتصنيع ، لأنه قد فقد ثباته الحراري . تقتل بكتيريا حامض اللاكتيك الميزوفيلية بواسطة البسترة المنخفضة (15 ثانية عند درجة حرارة 72 درجة مئوية) وحتى بالتجنيس الحراري (15 ثانية عند 65 درجة مئوية) . لا تقتل البسترة المنخفضة بكتيريا حامض اللاكتيك المحبة للحرارة مثل ستريبتوكوكس ثيرموفيليس *Streptococcus thermophilus* ، تكون بعض الستريبتوكوكس ممرضة للإنسان والحيوان (التهاب الضرع) . وبالعكس يستغل صانعو الألبان بكتيريا حامض اللاكتيك في عمل منتجات لبنية مخمرة ، وتشمل الزبادي وجبن وقشدة . ويتم اختيار سلالات بكتيرية بعناية وتنمو تحت ظروف متحكم فيها .

2.2.2.5 بكتيريا الأمعاء ***Coli forms***

والتي تنتمي إلى عائلة إنتيروباكتيرياس Enterobacteriaceae وهي واسعة الانتشار في القناة الهضمية وتشمل اشيريشيا كولاي *Escherichia coli* وايروباكتر ايروجينيس *Aerobacter aerogenes* ، ولكن هناك أجناس أخرى وأنواع عديدة تنتمي إليها ، تنمو هذه البكتيريا بسرعة في اللبن وخاصة فوق درجة 30 مئوية وتهاجم البروتينات واللاكتوز وينتج عن ذلك غاز ونكهة غير نظيفة unclean (ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين) .

تقتل البسترة المنخفضة الكوليفورمز مثل بكتيريا *Bacterium tuberculosis* (تحت فصل 1.2.5) . وقد أدى إلى استخدام هذه الحقائق بالإضافة إلى سعة انتشارها ككاشف . إذا كانت الكوليفورمز غائبة ، فإن ذلك يعني أن المنتج قد تم تسخينه بدرجة كافية ، ومن المحتمل ألا يعاد تلوثه ، ونتيجة لذلك فالكائنات الدقيقة الممرضة سوف لا توجد ماعدا البكتيريا المقاومة للحرارة .

3.2.2.5 البكتيريا المحبة للحرارة المنخفضة *Psychrotrophs*

وتسمى أيضاً بسودموناس أو العصى سالبة الجرام ، وتوجد بشكل واسع وتشمل الجنس بسودوموناس *Pseudomonas* وأكروموباكتر *Achromobacter* وفلافوباكتريوم *Flavobacterium* والكلاليجينيس *Alcaligenes* تنمو هذه البكتيريا في درجات حرارة منخفضة (أي أقل من 15 درجة مئوية) . تتكاثر هذه البكتيريا في اللبن حتى عند درجة حرارة أقل من 4 درجات مئوية . والدرجة المثلى هي من 30-20 درجة مئوية . تنتج هذه الكائنات الإنزيمات المحللة للبروتين Proteases الإنزيمات المحللة للدهن Lipases وعلى ذلك فإنها تهاجم البروتين والدهن مسببة نكهة فاسدة "Putrid" وزنخة "Rancid" . والإنزيمات التي تنتجها هذه البكتيريا لا تشبهها في كونها مقاومة للحرارة بشكل كبير ، ويمكن أن تسبب نكهة غير مرغوب فيها وتغير الخصائص الكيموفيزيائية حتى في اللبن المعامل بالحرارة الفائقة UHT المخزن . فمثلاً هذه البكتيريا يمكنها تحليل البروتين واللبن يصبح مراً وأكثر أو أقل شفافية . يمكن أن تكون أكثر من 5×10^5

بسيكروتروفس لكل مليللتر من اللبن الأصلي ضارة . لا يوجد في اللبن منخفض البسترة وفي اللبن الخام عيوب في النكهة حتى يصل عدد البكتيريا فوق 10^7 مليمتر$^{-1}$. يسبب التخزين قصير المدة ودرجة الحرارة التخزينية المنخفضة للبن عيوباً في النكهة .

4.2.2.5 البكتيريا المقاومة للحرارة *Thermoduric (Heat-resistant) bacteria*

لا تكون بعض البكتيريا المشتملة على ميكروباكتيريم لاكتيكيم *Microbacterium lacticum* والأستربيتوكوكي المحبة للحرارة Thermophilic *Streptocci* وأنواع ميكروكوكس معينة *Micrococcus* species جراثيم ، ولكن الخلايا الخضرية Vegetative cells تقاوم البسترة المنخفضة . إن التسخين لأعلى من 80 درجة مئوية لمدة 20 ثانية يقتلها ، توجد الكائنات في الأماكن التي تموت فيها بكتيريا أخرى نتيجة لدرجة الحرارة العالية السائدة ، مثل درجة الحرارة العالية المستخدمة أثناء تنظيف وحدات الحلب ، ليست هذه البكتيريا نشطة جداً في اللبن البارد المخزن ، ولكن غير مرغوب فيها لأنها تكون مازالت موجودة في المنتجات المسخنة ويمكن أن تنمو إذا كانت الظروف مناسبة خاصة عند درجات حرارة عالية .

5.2.2.5 جراثيم البكتيريا *Spores of bacteria*

الجنس باسيلس *Bacillus* (هوائي ولا هوائي اختياري) وكلوستريديم *Clostridium* (غالباً لا هوائية) يمكن أن تكون جراثيم . تقاوم أغلب هذه البكتيريا المعاملة الحرارية الشديدة . أصل هذه البكتيريا من التربة والغبار والروث وأيضاً من علف الماشية . بعض الأنواع الهامة وتأثيراتها كالتالي : يمكن أن تفسد باسيلي سيريوس *B. cereus* اللبن المبستر بإحداث الخثرة الحلوة ، نكهة غير مرغوبة ، كتل من كريات الدهن ، وهي ليست مقاومة للحرارة جداً . يمكن أن تنمو الكائنات عند درجات حرارة منخفضة حتى حوالي 7 درجات مئوية .

تكون باسيلي سيبتيلس *B. subtilis* وب . ستيروثيرموفيليس *B. stearothermophilus* مقاومة للحرارة لإفساد اللبن المعقم إذا لم يسخن بصورة كافية .

تتبع س . تيروبيتيريكيم *C. tyrobutyricum* لبكتيريا حامض البيوتيرك butyric acid bacteria ويمكن أن تسبب انتفاخاً متأخراً late blowing والذي يعتبر عيوباً خطرة في أجبان مثل جودا Gouda وإمينتالير Emmentaler تكون غازاً يشمل الهيدروجين يؤدي إلى ظهور ثقوب كبيرة وشقوق . يسبب إنتاج حامض البيوتيرك من حامض اللاكتيك نكهة كريهة Awful flavor (جزء 3.2.3.4) . وعادة لا تكون الخلايا الخضرية للبكتيريا المكونة للجراثيم وجراثيم الخميرة والأعفان مقاومة للحرارة ، تم عرض مسح للكائنات الدقيقة المفسدة للبن والمنتجات اللبنية في جدول 5.5 .

3.5 مصادر التلوث *Sources of Contamination*

يبدأ هذا الفصل ببعض الملاحظات العامة عن جوانب بيئية . وبالتالي مصادر الكائنات الدقيقة في الوسط البيئي للبقرة تم وصفها ، ثم بعد ذلك الطريقة التي بها يتلوث اللبن . الاحتياطات الواجب إتباعها لتجنب والتقليل من هذا التلوث ستناقش في فصل 4.5 .

1.3.5 بيئة الميكروبات *Microbial Ecology*

سكنت الكائنات الدقيقة كوكبنا منذ المراحل المبكرة للتطور ، أدت ضغوط اختيارية Selective pressures في مسار الزمن إلى تكوين تنوع عريض للميكروبات عن طريق الطفرات والتكيفات . وعلى ذلك فليس من المستغرب أن تتواجد الكائنات الدقيقة في هذا الزمن وخاصة البكتيريا في كل مكان . سواء أكان نوع معين من كائنات دقيقة موجودة في نظام بيئي معين يتحدد بواسطة مكونات حيوية (وجود وتوافر كائنات أخرى) ومكونات غير حيوية (التركيب الكيميائي ودرجة الحرارة و ... الخ) . يجد كل كائن دقيق موقعه البيئي Ecological niche أي البيئة التي يمكن أن يجد فيها تغذيته ويولد طاقته وينمو ويتنافس مع الكائنات

الأخرى ، ويتحمل الظروف القاســية . ويتطلب هذا تداخلاً بين الكائنات الدقيقة والبيئة . تحدد الأخيرة أي كائن حي يمكن أن يتزايد ، ولكن الكائن بدوره يغير الوسط الذي يعيش فيه مؤثراً على صـــلاحيته للكائنات الأخرى . فمثلاً بكتيريا حامض اللاكتيك تنمو في اللبن وتنتج حامض اللاكتيك من اللاكتوز وتنقص جهده التأكســـدي - الاختزالي ، وعلى ذلك فمن المحتمل أن يعوق نمو أغلب البكتيريا الأخرى (وحتى أفراد بني جنســـه أيضـــاً) ، بعض الخمائر يمكنها تحمل هذه الظروف .

عندما يترك اللبن الخام في اتصـــال مع البيئة الخارجية فإنه يكون جهاز بيئي مفتوح ، ويمكن أن يحتوي على أنواع بكتيرية عديدة . في مناخ معتدل وفي غياب آلات التبريد تسود بكتيريا حامض اللاكتيك في أي مكان يحفظ فيه اللبن ، وتســتطيع أن تنمو بســرعة وتتغلب على أغلب الكائنات الأخرى . بسبب إدخال صهاريج التبريد على نطاق واسع في المزرعة ، فإن ذلك قد تغير بصــورة درامية وأصــبحت البكتيريا المحبة للحرارة المنخفضــة هي الســائدة الآن . يســود في البلاد الاستوائية نوع آخر من البكتيريا هناك .

تكون كثير من المنتجات اللبنية نظاماً بيئياً مقفلاً متحكم فيه ، والتغيرات الميكروبية تحدث كثيراً معتمدة على تلوث خاص بواســـطة البكتيريا الموجودة . ليس فقط أنواع بكتيرية ، بل أيضـاً أعداد بكتيرية هامة ، ولكن هذا يعتمد على الحالة الفســيولوجية التي تعتمد عليها ، خاصـة الطور النـامي Growth phase (شـــكـل 3.5) ، واحتمـاليـة وجود لاقمـات البكتيريـا Bacteriophages (فصــل 3.13) . عادة ما يختلف التأثير البيئي على النمو ، التخمر ، ولأنواع معينة القدرة على استنبات الجراثيم Germination of spores . عادة تكون الظروف التي تسمح بالنمو محدودة بصـــورة أكبر من عمليات الهدم Catabolism (التخمر) فمثلاً بكتيريا حامض اللاكتيـك عـديـدة لا تســـتطيع النمو بـالقرب من درجـة 5 مئويـة (انظر شـــكـل 6.5) ولكن

جدول 5.5 بعض الكائنات الدقيقة المسببة لفساد اللبن والمنتجات اللبنية

Table 5.5 Some Microorganisms Associated with Possible Spoilage of Milk and Milk Products

فساد اللبن Spoilage	المقاومة للحرارة Heat Resistance	النمو في اللبن Growth in Milk	Source المصدر	Organism الكائن
				Spore formers البكتيريا المكونة للجراثيم
الخثرة الحلوة ، قشدة قليلة في اللبن المبستر Sweet curdling, bitty cream in pasteurized milk and cream	++	++	الغبار ، التربة ، الروث ، العلف Feed, dung, soil, dust	*Bacillus cereus*
تفسد اللبن المعقم Spoil sterilized milk	+	++	الغبار ، التربة ، الروث ، العلف Feed, dung, soil, dust	*Bacillus subtilis*
يفسد اللبن المبخر Spoil evaporated milk	+	++	الغبار ، التربة Feed, soil	*Bacillus stearothermophilus*
الانتفاخ المتأخر في الجبن Late blowing in cheese	+	-	التربة ، الروث ، السباخ Soil, silage, dung	*Clostridium tyrobutyricum*
				Coliforms الأشكال القولونية
Spoil milk and cheese اللبن الفاسد والجبن	-	++	أدوات تصنيع اللبن ، البراز Feces, milking ulensils, Contaminated water	*Escherichia coli*
Spoil milk اللبن الفاسد	-	++		*Klebsiella aerogenes*
				Lactic acid bacteria حمض اللكتيك
Sour milk اللبن الحامض	-	++	أدوات تصنيع اللبن ، وحدة استقبال اللبن Milking utensils, parlor	*Lactobacillus species*
Sour milk اللبن الحامض	-	++	أدوات تصنيع اللبن ، وحدة استقبال اللبن Milking utensils, parlor	*Lactococcus lactis*
Sour milk اللبن الحامض	+	++	أدوات تصنيع اللبن ، وحدة استقبال اللبن Milking utensils, parlor	*Streptococcus thermophillus*
				Psychrotrophs البكتيريا المحبة للحرارة
تحلل البروتين مائياً والدهن في اللبن المخزن البارد Hydrolyze protein and fat in cold-stored milk	-	++	Milking utensils, cold-stored milk	e.g. *Pseudomonas*

Thermoduric bacteria				
e.g, *Micrococcus species*	أدوات تصنيع اللبن Milking utensils	+	+	يمكن أن تنمو في المنتجات المبسترة Can grow in pasteurized products
Yeasts الخمائر	التربة ، أدوات تصنيع اللبن Dust, milking utensils	+/-	-	الجبن الفاسد ، الزبد ، اللبن المركز المحلى Spoil cheese, butter, sweetened condensed milk
Molds الأعفان	التربة ، السطوح الملوثة ، العلف Dust,dirty surfaces, feed	+/-	-	الجبن الفاسد ، الزبد ، اللبن المركز المحلى Spoil cheese, butter, sweetened condensed milk

+ = تتحمل البسترة المنخفضة .

a + = Survive low pasteurization.

تكون مناسبة في ظروف أخرى ، فإن هذه البكتيريا يمكن أن تنتج حامض اللاكتيك من اللاكتوز ، وهي ظروف يكون فيها استنبات الجراثيم عادة محدود للغاية .

2.3.5 الكائنات الدقيقة الموجودة في الضرع
Microorganisms Present in the Udder

يجب أن نفرق بين الأبقار السليمة والمريضة بالرغم من صعوبة ذلك ، وخصوصاً لبعض أنواع التهاب الضرع Mastitis .

1.2.3.5 الأبقار السليمة *Healthy Cows*

في أغلب الأبقار لا توجد كائنات دقيقة في اللبن في الأسناخ alveoles والقنوات ducts ، أكياس cisterns ، وأكياس الحلمة teat cistern ولكن توجد في قناة الحلمة وعاصرة الحلمة ، عادة أجناس البكتيريا ميكروكوكس Micrococcus وستافيلوكوكس Staphylococcus وكورينيبا كتيريم بوفيس *Copynedacterium bovis* مقاومة للحرارة ، وفي بعض الأحيان بكتيريا أخرى تكون أيضاً مشتركة أثناء عملية الحلب ، تدخل هذه البكتيريا اللبن مباشرة بعد الحلب ، يختلف عددها بين الأبقار بصورة واسعة ، من أعداد قليلة للغاية إلى حوالي 15000/مليلتر$^{-1}$ ؛ العد البكتيري للمستعمرة للبن المسحوب لبقرة بصحة جيدة هو عادة أقل من 100 لكل ميليليتر$^{-1}$ ، عند درجة حرارة 5 مئوية تنمو البكتيريا بصعوبة وبعد بسترة ضعيفة لا يمكن الكشف عنها ، ومن الواضح أن اللبن عالي الجودة ميكروبياً يمكن الحصول عليه من أبقار صحيحة .

للبقرة عدة ميكانيكيات دفاعية لكي تبعد الكائنات الدقيقة عن الضرع :

- عاصرة الحلمة .
- عوامل قاتلة ومثبتة للبكتيريا موجودة في المادة الكيراتينية لقناة الحلمة وفي اللبن نفسه ، والكريات البيضاء الموجودة في اللبن .
- تأثير الشظف "Rinsing effect" نتيجة تفريغ اللبن .

2.2.3.5 الأبقار المريضة ***Unhealthy Cows***

عندما تكون البقرة مريضـة نتيجة الإصـابة البكتيرية ، يمكن للمسـبب المرضـي أن يدخل اللبن في حالة التهاب الضـــرع ، تكون الكائنات الممرضـــة موجودة في الضـــرع ، وبالتالي في اللبن وبســبب هذا يحتوي لبن البقرة المصـــابة على عد بكتيري عال . بعض من كائنات التهاب الضــرع شـــــاملة ميكوبكتيريم ثيوبركلوزيس *Mycobacterium tuberculosis* ، بعض ســـتريبتوكوكس *Streptococci* ، ســـتافيلوكوكس اوريس *Staphylococcus aureus* وبعض الســـلالات من إيشريشيا كولاي *Escherichia coli* تكون أيضاً ممرضة للإنسان .

إذا التهب عضو آخر غير الضرع ، يمكن للمسبب المرضي الدخول مباشرة إلى اللبن من خلال الجسم ، خاصة إذا كانت البقرة مصـابة أيضاً بالتهاب الضرع . ومن الطبيعي أن تستطيع الكائنات أيضـــاً الدخول للبن من خلال الروث والبول (انظر تحت فصـــل 1.3.3.5) من بين هذه الكـائنـات التي تكون ممرضـــــة للإنســـــان هي ليبتوســـبيرا *Leptospira* serotype *hardjo* وميكوبكتيريم تيبوركلوزيس *Mycobacterium tuberculosis* ، كـامبيلوبـاكتر جيجيني *Campylobacter jejuni* ، وليستيريا مونوسيتوجينس *Listeria mono cytogenes* ، باسيلس أنثراكيس *Bacillus* anthracis (المســـببة للجمرة الخبيثـة) . بريســـيللا ايورتيس *Brucella abortus* (المسببة لمرض يشبه الحمى المالطية في الإنسـان) وفيروسـات أمراض الفم والقدم . ومن الواضح أنه من الضـروري أن نستبعد لبن الحيوانات المصـابة من التصـنيع ونسـخن اللبن لكي تقتل أي مسببات مرضية . إن شرب اللبن الخام لا ينصح به إطلاقا .

3.3.5 التلوث أثناء وبعد الحلب ***Contamination During and After Milking***

تحدد الاحتياطات الصـــحية الواجب إتباعها أثناء وبعد عملية الحلب أي كائنات حية غريبة تدخل اللبن ، وتشمل مسببات أمراض للإنسان . ويعتمد هذا على أعدادها . العد البكتيري للبن المخلوط من أبقـار غير مصـــــابـة هو 10.000 مليلتر$^{-1}$ وفي بعض الأحيـان أقـل من

ذلك . إذا كانت الاحتياطات الصـــحية المتبعة أثناء الحلب غير كافية ، فإن اللبن المخلوط الطازج المســحوب يحتوي على عد بكتيري عالٍ وقد يصــل إلى مليون مليلتر-1 ، ســوف تناقش المصــادر المحتملة لتلوث اللبن مع الكائنات الدقيقة المصنفة الآن .

1.3.3.5 البقرة *The Cow*

يمكن للكائنات الدقيقة الدخول للبن أثناء الحلب من جلد الحلمات الذي غالباً ما يكون ملوثاً بالروث والغبار والتربة ورقائق من الجلد ، شـعر وأوسـاخ ورقائق من العلف تسـتطيع الدخول للبن ، يمكن أن تلوث أنواع عـديدة من الكائنات الحية اللبن وتشـــمل كوليفورمز Coliforms ســتريبتوكوكي من الروث *fecal Streptococci* ، بعض بكتيريا الأمعاء ، جراثيم البكتيريا (غالباً كلوســتريديم *Clostridium* spp.) والأعفان . يكون بعض من هذه الكائنات الدقيقة ممرضـــاً للإنسان .

الحظائر المناسـبة والعناية بالأبقار هي احتياطات ضـرورية لحماية الضـرع نظيفاً . ونتيجة لتلك المعاملة الجافة والتي تشـــمل إزالة الأوســاخ المبعثرة ، تكفي عند الحلب ، تســبب مثل هذه المعاملة الجافة تســرب اللبن من الحلمة . بكتيريا أقل تصــبح منفصــلة عن جلد الحلمة ، يجب أن تنظف الحلمة غير النظيفة جيداً قبل عملية الحلب ، ولكن الإزالة الكاملة للبكتيريا تكون غير ممكنة .

2.3.3.5 التربة ، الروث ، الغبار *Soil, Dung, Dust*

يمكن أن تصـــل كل هذه الملوثات إلى اللبن ، وبذلك يزداد العد البكتيري وبالإضـــافة إلى ذلـك ، توجـد جراثيم البكتيريـا ، الخمـائر والأعفـان أيضـــاً في الهواء . بـاســـيلس ســـيبتيلس *B. subtilis* تنشـــأ غبار القش ، يمكن أن تدخل الجراثيم اللبن خلال الهواء وتمتص أثنـاء الحلـب الميكـانيكي ، أو تســـقط مبـاشـــرة داخـل اللبن أثنـاء الحلـب في أواني حليـب مفتوحة . تكون نظافة مكان الحلب واستراحات الأبقار أثناء الحلب من العوامل المحددة للتلوث في اللبن .

3.2.3.5 العلف *The Feed*

يحتوي العلف عادة على أعداد كبيرة من الكائنات الدقيقة . يمكن أن يقع العلف في بعض الحالات داخل اللبن ، ولكن كائنات حية معينة في العلف تقاوم المرور خلال القناة الهضمية، وبالتالي تدخل اللبن خلال الروث ، وتشمل بعض مسببات الأمراض للإنسان . وتشمل البكتيريا المكونة للجراثيم باسيلس سيريس *Bacillus cereus* و ب. سيبتيلس *B.subtilis* والكلوستريديوم تيروبيتريكم *C. tyrobutyrium* والتي تستطيع إفساد اللبن والمنتجات اللبنية ، تكون لها علاقة بذلك . أعداد كبيرة من س. تيروبيتيريكم *C. tyrobutyrium* توجد في الأعلاف منخفضة النوعية . الجراثيم البكتيرية تقاوم البسترة المنخفضة للبن الجبن ، والتي لا يمكن استخدام المعاملة الحرارية العالية . ويمكن أن تسبب انتفاخ متأخراً "late blowing" في بعض أنواع من الجبن (فصل 2.2.6) ولذلك يكون استخدام علف عالي النوعية واجباً ، وتلوث اللبن بواسطة الروث يجب أن يمنع بشدة . في بعض المناطق ، يكون استخدام العلف ممنوع كلياً أي في هولندا في مناطق وجود إمينتالير ، وفي شمال إيطاليا حيث تصنع جبنة بارميسان Parmesan cheese ، عرضياً عندما تعاني البقرة من إسهال (عند التغذية على مركزات كثيرة) ويزيد هذا تلوث اللبن بواسطة الروث .

4.3.3.5 وحدات الحلب *Milking Unit*

تقدم العدوى بالتلامس التهديد الأكبر لتلوث أغلب الأغذية ، شاملة اللبن . يمكن أن تحتوي أجهزة الحلب غير المعقمة والغير نظيفة على أعداد كبيرة من الكائنات الدقيقة ، وحيث أن هذه الكائنات تنشأ من اللبن ، فإنها سوف تنمو بسرعة وتقلل من نوعية اللبن . يحتوي اللبن المتبقي عادة على حوالي 10^9 بكتيريا مليلتر$^{-1}$ وحتى 1 مليلتر من هذا اللبن يدخل 100 لتر من اللبن أثناء الحلبة الثانية سوف يزيد العدد 10.000 مليلتر$^{-1}$.

تحدد طرق النظافة والتعقيم المستخدمة نوع الكائنات الملوثة . إذا استخدمت درجة حرارة عالية وكانت النظافة وتعقيم أدوات الحلب غير مرضية ، سوف يكون النوع الأساسي مقاوماً

للحرارة ويشـــمـل ميكروكوكي *Micrococci* وميكروبـاكتيريم لاكتيكم Microbacterium *lacticum* ، بعض ســتريبتوكوكي Streptococci والبكتيريا المكونة للجراثيم . إذا اســتخدمت درجة حرارة منخفضـــة ، ســوف تكون بكتيريا حامض اللاكتيك مثل لاكتوكوكس لاكتس *lactococcus lactis* ، بسودوموناس ، وكلوليفورمز موجودة أساساً ، استخدام معدات حليب نظيفة ومعقمة هو شرط أساسي . شروخ صغيرة من مطاط الوحدات المتهالك والنهايات الميتة "dead ends" في المعدات والتي تكون غير كافية الشطف يجب أن يتم تجنبها .

5.3.3.5 الماء المستعمل *Water Used*

يمكن أن يكون ماء الصــنبور نوعية جيدة . أي إمداداً مائياً خاصــاً يجب فحصــه على فترات ، يمكن أن يحتوي الماء السطحي على كائنات دقيقة ، بما فيها مسببات أمراض الإنسان . ويجب أن يســتخدم ماء الصــنبور في التنظيف والشــطف ، بكتيريا بســودوموناس وكروموباكتر ، والفلافوباكتيريم ، والكالنجينيز ***Alcaligenes* spp.** هي بكتيريا تشــبه العصـــي موجبة الجرام ، أغلبها محبة للبرودة **Psychotropic** ، وهي عادة ما تكون موجودة في المياه الملوثة (وأيضــاً في الروث ، التربة ، والأدوات غير النظيفة) ، خصوصا في البلاد الاستوائية ، يمكن أن يحتوي الماء على عدد بكتيري عالٍ جداً .

6.3.3.5 الحلابون *The Milkers*

يؤثر الحلابون على كثير من العوامــل التي تم ذكرهــا ، وبــالتــالي على نوعيــة اللبن الميكروبيولوجية . ويمكن أيضاً أن يلوث الحلاب اللبن مباشرة أي من يديه . إذا كان الحلاب يعاني إصابة بكتيرية ، فإنه يمكن أن يلوث اللبن مباشرة بالمسببات المرضية .

جدول 6.5 مساهمة بعض مصادر التلوث على العد البكتيري للمستعمرة في اللبن الخام[1]

Table 5.6 Contribution of Some sources of Contamination to the Colony Count of Raw Milk

مصدر التلوث	تقدير الإسهامات في العد البكتيري

Source of contamination	Estimate of the contribution to the count (ml^{-1})
ضرع بقرة صحي Udder of a healthy cow	حتى عدة آلاف من البكتيريا Up to several thousand
بقرة مصابة بالتهاب الضرع Udder of a mastitic cow	حتى عدة ملايين من البكتيريا Up to several million
جلد البقرة ملوث Skin of cow	من مئات إلى عدة آلاف من البكتيريا A hundred up to several thousand
قاعدة استقبال اللبن (التربة ، الروث ، الغبار ، الهواء) Milking parlor (soil, dung, dust, air)	حتى ألف من البكتيريا Up to a thusand
العلف Feed	حتى ألف من البكتيريا Up to a thousand
وحدة الحلب Milking unit	من ألف حتى عدة ملايين من البكتيريا A thousand up to several million
ماء التنظيف والشطف Water for cleaning, rinsing	حتى عدة آلاف من البكتيريا Up to several thousand
حلاب جيد Good milker	تهمل عادة Generally negligible

ملاحظة : أمثلة تقريبية .

Note: Approximate examples.

يعطي الجدول 6.5 مخططاً لمساهمة بعض مصادر التلوث في العد البكتيري للبن .

4.5 إجراءات صحية *Hygienic Measures*

عند مناقشـــة الإجراءات التي تنتج عن جودة ألبان مرضـــية من الناحية البكتيريولوجية ، يجب أن يميز التلوث بواســـطة البكتيريا غير المرغوب فيها عن نمو البكتيريا في اللبن ، لا يمكن أن تنمو بكتيريا حامض البيوتريك Butyric acid bacteria في اللبن ، ولكن وجود أكثر من جرثومة واحدة/مليلتر من اللبن ، تكون غير مرغوب فيها في إنتاج بعض أنواع من الجبن : تنمو البكتيريا المحبة للبرودة بسرعة في اللبن ، ويكون التلوث بواسطة $10^2 - 10^3$ مليلتر$^{-1}$ أثناء الحلب من الصعوبة

تجنبه ، وليس للعد البكتيري أقل من 10^5 مليلتر$^{-1}$ ضـــرر . يجب أيضـــاً أن يتم التفريق بين الغذاء المرض والتسمم الغذائي ، يجب أن تكون الإجراءات الصحية الغرض منها القضاء على مسببات الأمراض وتثبيط الكائنات المسببة للفساد ، وسوف تتم الآن مناقشة هذين الموضوعين .

1.4.5 حماية المستهلك من الكائنات الدقيقة الممرضة

Protection of the consumer against Pathogenic Microorganisms

إن الأسباب الرئيسية لتلوث اللبن الخام بواسطة المسببات المرضية ، ونمو هذه الكائنات في اللبن أثناء التخزين ويجب أن يتم تجنبها كلما أمكن ذلك .

1. أثناء النمو الميكروبي في اللبن الخام ، يمكن أن تتكون السـموم ، تكون بعض السـموم مقاومة للحرارة .
2. تقاوم بعض المسـببات الممرضـة المعاملات الحرارية مثل البسـترة ولحسـن الحظ يكون هذا اسـتثناء ، كلما ارتفع العد البكتيري في اللبن الخام كلما ازدادت الكائنات المقاومة للمعاملة الحرارية ، وهذا له أهميته إذ أن المعاملة الحرارية المستخدمة تترك فقط هامشاً صغيراً .
3. كلما زاد تلوث اللبن الخام بواسـطة الكائنات الممرضـة ، كلما زاد خطر إعادة تلوث اللبن المسخن .

إن تلوث اللبن الخام بالكائنات الممرضـة لا يمكن أن نعلن أنه غير وارد ولا مجال للبحث فيه . فاللبن المخصـص للاسـتهلاك أو لتحويله إلى منتجات لبنية ، يجب قانوناً تسـخينه لقتل مسببات الأمراض المعروفة ، ويفهم من هذا ضمناً على الأقل بسترة منخفضة .

إن شرب اللبن الخام لا ينصح به إطلاقاً ولكن الجبن الصلبة المصنوعة من اللبن الخام ليس لها خطورة على المسـتهلك . تحلل بكتيريا حامض اللاكتيك بسـرعة اللاكتوز ، لتعطي حامضـاً لاكتيكياً ، وهو غير مناسب كمصـدر كربوني لأغلب الكائنات الممرضـة ، وينخفض نتيجة لذلك الأس الهيـدروجيني بسـرعـة إلى من 5.5 وهو غير منـاسـب لكثير من مسـببـات الأمراض . ينخفض معدل الأكسـدة–الاختزال Redox إلى قيمة منخفضـة حوالي 150 فولت ،

وهو يمنع الكائنات الدقيقة الهوائية من النمو ، وبالإضـافة إلى ذلك بكتيريا حامض اللاكتيك تكون مركبات مضـادة لبعض مسببات الأمراض . أغلبها إذا وجدت تموت في خلال أسـابيع قليلة (انظر جدول 5.5) ولكن هناك خطر حقيقي في أن مسـببات الأمراض تكون موجودة في الأجبان الطرية المصنوعة من لبن خام .

وثمة احتياطات يجب اتخاذها لمنع نمو الكائنات المسـببة لفســاد اللبن وتوقف نمو البكتيريا الممرضة التي يمكن أن تنتج سموماً مقاومة للحرارة ، ولذلك فاللبن المبستر هو أحد المنتجات الغذائية من الأصل الحيواني الأكثر أماناً .

2.4.5 إجراءات يجب اتخاذها ضد الكائنات المسببة لفساد اللبن

Measures Against Spoilage Organisms

إن انخفاض مستوى التلوث بسبب الكائنات الدقيقة هو الهدف الأول . ولكي نصل إلى هذا الهدف فيجب معرفة مصادر التلوث . بعضها يوجد قبل الحلب ، خاصة في الاستراحات (بقر نظيف) وإنتاج علف (بكتيريا حامض بيتيرك) . نظافة وتطهير آلات الحلب أسـاسـية (فصـل 14) ويقصـــد هنا إزالة وقتل البكتيريا ، البكتيريا التي يكون منشـــؤها من أجهزة الحلب غير النظيفة ، وعادة لا يكون لها طور سكون وتستطيع النمو بسرعة في اللبن (شكل 5.5) .

إن التبريد هو الوســيلة الرئيســية لتثبيط نمو البكتيريا في اللبن . يعتمد وقت تخزين اللبن الأقصـــى على درجـة حرارة الحفظ . تكون عمليـة مرضـــيـة لتبريـد خزانـات اللبن في المزرعـة ضرورية . ومن ناحية ثانية فإن تبريد اللبن لا يقتل البكتيريا .

لا يخزن في مصانع الألبان ، اللبن الخام قبل التصنيع ، ولكن يسخن ثم يبرد تحت 4 درجة مئوية ، المعاملة الحرارية هي معاملة حرارية خفيفة ، أي 15 ثانية عند 65 درجة مئوية كافية لقتل البكتيريا المحبة للبرودة ، والتي لا تكون كلها مقاومة للحرارة . وبهذه الطريقة تمنع نمو هذه البكتيريا إلى أعداد تسبب أضراراً أثناء التخزين البارد للبن في المصنع . كذلك الحال بالنسبة لتكوين إنزيمات مقاومة للحرارة (الليباز والبروتينيز) . تقتل المعاملة الحرارية جزءاً من البكتيريا الأخرى ومنها بكتيريا حامض لاكتيك عديدة .

مراجع مقترحة *Suggested Literature*

كتاب مرجعي نافع عن المبكروبيولوجيا العامة هو :

H. G. Schlegel, General Microbiology, Cambridge University Press, 1993.

يقدم كتاب مرجعي فهماً جديداً على ميكروبيولوجيا الغذاء شاملاً جوانب عن اللبن هو :

D.A.A. Mossel. J.E.L. Corry, and C.B. Struijk, Essentials of the Microbiology of foods, Wiley, Chichester, 1995.

ميكروبيولوجيا اللبن (وبعض المتنجات اللبنية) تم معالجتها في :

R. K. robinson, Ed, Dairy Microbiology, Vol. 1, Microbiology of Microbiology of Milk, and Vol. 2, Microbiology of Milk products, 2nd ed., Elsevier, London, 1990.

جوانب تطبيقية للكائنات الدقيقة في اللبن يمكن أن يوجد في :

E. H. Marth and J.I. steele Eds. Applied Dairy Microbiology, 2nd ed., Dekker New York, Basel, 2001.

معلومات موسوعية عن الكائنات الدقيقة المختلفة في اللبن موجودة في :

H. Roginski, J.W. fuguay, and P.F. Fox, Eds., En cyclopedia of Dairy Science, Academic Press, San Diego, 2002.

ميكروبيولوجيا اللبن الخام ، تم مناقشته في تقرير IDF العوامل المؤثرة على بكتيرولوجيا اللبن الخام

International Dairy Federation, Dairy Federation No. 256, Brussels, 1990.

رسالة عن البكتيريا المكونة للجراثيم الموجودة في اللبن ، توجد في :

Bulletin of the International Dairy Federation No. 351, Brussels, 2000.

***Part* II** الجزء الثاني

Processes العمليات

6 جوانب عامة للعمليات التصنيعية
General Aspects of Processing

ســوف نناقش قبل البدء في العمليات التصــنيعية الخاصــة ، بعض الاعتبارات العامة عن عمليات تصنيع اللبن وسلامة جودته .

1.6 المقدمة *INTRODUCTION*

اللبن هو المادة الخام في صـــناعة منتجات غذائية عديدة . تكون هذه المنتجات غالباً مصــنعة في مصــانع الألبان والتي تكون طريقة عملها متعلقة بخصــائص المادة الخام ، تكون بعض الخواص الأساسية للصناعات الغذائية اللبنية كالتالي :

1. اللبن ســـائل متجانس (أو يمكن أن يكون جاهزاً للتجنيس) . ويقتضـــي هذا ســـهولة النقل والتخزين . وبصــفة عامة يؤدي ذلك إلى تســهيل التطبيق العملي للعمليات التصــنيعية المستمرة .
2. تختلف خواص اللبن تبعاً لمصـــادر اللبن وموســـم الحلب ، وظروف التخزين وأثناء الحفظ . ويتطلب هذا أن العمليات تجب أن تتطور مع التغيرات في الخواص .
3. اللبن ســريع الفســاد وكذلك الحال بالنســبة لكثير من المواد الوســيطة بين اللبن الخام والمنتج النهائي . ويحتاج هذا إلى تحكم صارم للنواحي الصحية وظروف التخزين .
4. قد يحوي اللبن الخام بكتيريا ممرضــة ، ويمكن أن يزدهر بعض منها في اللبن ، ويحتاج هذا أيضــاً إلى تحكم شديد للجوانب الصحية وتطبيق عمليات الثبات .
5. عادة ، يتم توصــيل اللبن الخام إلى مصــانع الألبان طوال العام ، ولكن بكميات مختلفة (في بعض المناطق لا يوصل اللبن إلى المصانع خلال أوقات معينة من السنة) . لأن اللبن يجب أن

يصنع في خلال أيام قليلة في الغالب ، ويتطلب هذا عامة أن القدرة التصنيعية لمنتجات الألبان لا يمكن أن تستخدمه بالكامل أثناء معظم أوقات السنة .

6. يحتوي اللبن على مكونات عديدة ، ويمكن فصلها إلى أجزاء بطرق مختلفة . أي إلى قشدة ولبن منزوع الدسم ومسحوق أو مائي أو إلى خثرة وشرش . بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تطبق تحولات فيزيائية عديدة وتخمرات . ويعني هذا أن نوعية منتجات عديدة يمكن أن تصنع .
7. كميات صغيرة نسبياً من مواد خام (بجانب اللبن) تحتاجها صناعة معظم منتجات الألبان ، ولكن ربما يكون استهلاك المياه والطاقة مرتفعاً .
8. يمكن أن تستخدم وحدة تصنيع واحدة عادة في تصنيع مدى من المنتجات . يشمل هذا المعاملة الحرارية ، التبريد وفصل القشدة . وعملية التجنيس .

تقريباً تكون كل خطوات العمليات التصنيعية التي تطبق في تصنيع الغذاء ، مستخدمة في مصانع الألبان . ويمكن أن تجمع كالتالي :

1. **نقل القوة الدافعة** : الضخ والانسياب .
2. **نقل الحرارة** : التسخين والتبريد .
3. **الخلط / المزج** : التقليب ، التذرية (التحويل إلى رذاذ) ، التجنيس وإعادة التركيب . آخر عمليتين يمكن أيضاً اعتبارهما تحولات فيزيائية .
4. **فصل الأوساط المختلفة** : الفرز ، فصل بودرة اللبن من الهواء الجاف ، جزء من عملية الخض ، ... الخ .
5. **فصل الجزيئات** : التبخير ، التجفيف ، عمليات الفصل بالأغشية والبلورة (من الماء ، لاكتوز ودهن اللبن) .
6. **التحويل الفيزيائي** : تكوين الهلام (كنتيجة للتنفيح أو تحميض اللبن) وهي عناصر هامة في صنع الزبدة والآيس كريم .

7. **التحول الميكروبي والإنزيمي** : إنتاج المنتجات المخمرة وصناعة الجبن وإنضاجها .
8. **زيادة القابلية للحفظ (التثبيت)** : البسترة ، التعقيم ، التبريد و التجميد . على الأقل واحدة من هذه العمليات تكون دائماً مستخدمة في الحقيقة . تهدف أغلب عمليات التثبيت (الموازنة) إلى تأكيد سلامة الغذاء .

ربما تكون المعرفة العاملة لعمليات الغذاء التصنيعية في بعض الحالات كافية للتطبيق في مجال وحدة العمليات التصنيعية . بعض العمليات التي تكون أساسية لصناعة الألبان ، ومع ذلك لم تعامل أو عوملت سطحياً في الكتب المرجعية للأغذية التصنيعية ، بالإضافة إلى ذلك قد تؤثر العملية على المادة الخام ، ولكن المادة أيضاً تؤثر على العملية . سوف تقدم أمثلة عديدة في الفصول القادمة ، غالباً ما تكون مثل هذه التداخلات المتبادلة معقدة معينة وذات أهمية تطبيقية . وبالتالي فإن المعرفة التامة لفيزياء وكيمياء وميكروبيولوجية اللبن ومكوناته تكون ضرورية لفهم التغيرات الحادثة ، المقصودة وغير المرغوبة في المادة أثناء العمليات التصنيعية .

الأهداف من تطوير عمليات تصنيع منتجات غذائية هناك بعض الاعتبارات يجب أن توضع في الحساب . وتشمل هذه توافر المواد والآلات والفنيين المتخصصين ، والمعرفة الخاصة والظروف التشريعية . ومع ذلك ، فالأهداف من عمليات الإنتاج هي ذات أهمية عظمى . وتأمين الاحتياطات يمكن أن يصنف كالتالي :

1. سلامة المنتج للمستهلك ، صحة المستهلك يمكن أن تهدد بواسطة البكتيريا الممرضة (أو سمومها) وبواسطة المواد السامة والمسرطنة أول هذه المواد دائماً ما تكون الأكثر خطورة ، سوف يتم مناقشة هذه الجوانب في فصل 3.6 وبالتحديد في فصل 5 وفصول الجزء الثالث (المنتجات) .
2. جودة المنتج ، بجانب سلامة المنتج والتي يمكن أن يؤخذ في الاعتبار الجوانب النوعية وهذا يتضمن :

- القيمة الغذائية .

- **الجودة – الحية** : الطعم ، الرائحة ، الإحساس به في الفم .
- **المظهر** : اللون والقوام .
- **خواص الاستعمال** : مثل توزيع الزبدة ، قدرة خفق القشدة ، انتشار بودرة اللبن وبصفة عامة سهولة المداولة .
- **الحفاظ على الجودة القابلية للحفظ** : أي طول المدة الزمنية التي يحفظ فيها المنتج قبل أن تنخفض جودته معنوياً أو ربما يصبح له مخاطر صحية .
- **القيمة الحسية** : جوانب عديدة تختلف بصورة كبيرة بين المستهلكين . ولكي نكون متأكدين ، فإن أغلب هذه الجوانب التي ذكرت يمكن أيضاً أن تتعرض لاعتبارات المستهلك الحسية .

تختلف متطلبات الجودة بشكل واسع بين المنتجات . وحتى إذا كان نفس الصنف (فترة التخزين) ، احتياطات مختلفة نحتاج لإتباعها .

3. جودة العمليات التصنيعية . لابد أن تكون العملية التصنيعية آمنة ومريحة بالنسبة للعاملين عليها وللأشخاص القريبين منها ، ويجب ألا تسبب مشاكل بيئية ، مثل التلوث أو استهلاك كبير للمصادر الحيوية (مثل الطاقة والماء) .
4. التكاليف ، عادة يجب الحفاظ على تكاليف العمليات التصنيعية في حدود ، يجب عدم تجاوزها ، اعتبارات يجب أخذها في الاعتبار مثل ثمن المواد الخام (شاملة التغليف) ، استخدام الطاقة ، إنفاق المعدات ، وكثافة العمالة ، ... الخ . أيضاً مرونة وتعقيد العملية التصنيعية مع التأكد من احتمالية وقوع أخطاء (ينتج عنها نوعية رديئة أو حتى الحاجة إلى إعدام المنتج) ، ربما يؤثر على أثمان المنتج . ويكون نفس الشيء صحيحاً بالنسبة لتكاليف التخزين .

ويمكن أن نضيف إلى أن الأهداف تكون متنوعة وغالباً متعارضة تبادلياً ، وهذا يعني أن الكمال في العمليات التصنيعية ليس سهلاً .

2.6 طرق الحفظ *Preservation Methods*

إن العمليات التصنيعية لمنتجات اللبن دائماً ما تشمل بعض أشكال الحفظ ، والذي يعني اتخاذ احتياطات تمنع أو تقلل من التدهور أو فســـاد اللبن . معظم التقنيين يفكرون أولاً في تدهور نوعية اللبن الذي تســـببه الكائنات الدقيقة ، ولكن يمكن أيضـــاً أن يكون ســـببه تغيرات إنزيمية وكيميائية وفيزيائية . الإجراءات التي نحتاجها لمنع العاملين الأخيرين تكون معينة وعالية الخصـوصـية وسـوف لا يعقب عليها في هذا الفصـل . ولكن سـوف تشـتمل المسـببات الإنزيمة وربما يمكن أن نضـيف أن تدهور اللبن وعدم كونه آمناً عادة ، يكون له علاقة بذلك ، والمنتج الذي يتغير ظاهرياً يكون غالباً آمناً تماماً ؛ بينما مازال المنتج الذي شـــكله وطعمه جيداً ويمكن في بعض الأحيان أن يحتوي على مستوى خطير من البكتيريا المرضة أو سمومها .

ولكي تتغلب على نشـــاط الميكروبات فإننا نســـتطيع (1) قتل الكائنات الدقيقة ، (2) نزيلها طبيعياً ، (3) نثبط نموها (بالرغم من أن هذا لا يمنع الفعل الأيضـــي بواســـطة جهاز إنزيمات الكائن الحي) و (4) نمنع تلوث اللبن بالميكروبات .

الطريقتان 1 و 2 يمكن استخدامهما لإزالة المسـببات المرضية . وهناك اختلافاً واسـعة في مقاومة البكتيريا لعوامل الحفظ ، وبالإضـــافة إلى ذلك ، فإن الجراثيم البكتيرية تكون أكثر مقاومة عن الخلايا الخضـــرية المناظرة لها . الخمائر والأعفان لا تميل لكونها مقاومة جداً . المقاومة في الفيروســـات متغيرة . بالإضـــافة إلى ذلك ، تعتمد مقاومة كائن حي بعامل الحفظ على الظروف البيئية ، مثل الأس الهيدروجيني ، القوة الأيونية ودرجة الحرارة .

تميل البكتيريا ، الخمائر ، والأعفان للموت تحت ظروف لا تستطيع النمو فيها ، ولو كان النمو بطيئاً ، وحتى بعد عدة سنوات يستطيع الكائن الحي يمكن أن توجد . الجراثيم يمكن أيضاً أن تظل حية ظروف قاسية لمدة طويلة جداً . ولكي نبطل الفعل الإنزيمي فإنه يمكننا أن نثبط الإنزيم لا عكسـياً ؛ تختلف المقاومة للتثبيط بين الإنزيمات ومع الظروف البيئية المحيطة ، ويسـتطيع المرء أيضـاً

أن يخفض النشـــاط النوعي للإنزيم بتغيير الوســـط . ويمكن تطبيق عدة طرق حفظ ، وجميعها لها مميزات وعيوب وسوف نناقش باختصار الطرق الأكثر أهمية .

- المعاملة الحرارية . هذه الطريقة المختارة للمنتجات الســـائلة وهي نشـــطة ضـــد الميكروبات والإنزيمات . والطريقة متاحة وســـهلة ومرنة ودرســـت بعناية وغير مكلفة ، ومن عيوبها حدوث تفاعلات كيميائية غير مرغوبة فيها . وخاصـة عند شـدة تسـخين عالية ، على سـبيل المثال ، تسبب رائحة كريهة . وسنناقش الطريقة بالتفصيل في الفصل السابع .
- معاملات الضـغط . يجب أن يكون الضـغط الهيدروسـتاتيكي المسـتخدم مرتفعاً ، أعلى من PaM100 (واحد كيلوبار) . يؤدي الضـغط العالي إلى عدم طي البروتينات الكروية ، وبذلك يقتل الميكروبات ويثبط بعض الإنزيمات . على ســبيل المثال لخفض عدد البكتيريا الخضـــرية بعامل قدره 10^5 أو 10^6 يجب أن يستخدم ضـغط قدره حوالي PaM250 لمدة 20 دقيقة أو PaM500 لمدة 10 ثواني ، تكون الجراثيم والإنزيمات أكثر مقاومة . الميزة الكبرى لهذه الطريقة هي أن التفاعلات الكيميائية غير المرغوب فيها يقل حدوثها ، أما عيوب الطريقة هي أنه في اللبن تميل جســيمات الكازين إلى التشـــتت اللاعكســـي ، مؤدية إلى تغيير معنوي للمنتج . بالإضـافة إلى ذلك ، الطريقة مكلفة لأن العمليات التصـنيعية تكون غير مسـتمرة ويمكن فقط أن تطبق على أحجام صغيرة في نفس الوقت . ولا تستخدم للمنتجات اللبنية .
- التشـعيع ، يمكن أن يكون إشـعاع مؤيّن مثل أشـعة بيتا أو جاما المنبعثة بواسـطة مواد مشـعة نشطة ، أو أشعة فوق بنفسجية . تحتاج الأولى أن تكون شدتها عالية لقتل البكتيريا ، وخاصة الجراثيم . وينتج هذا نكهات غير مرغوبة ، بالإضـافة إلى ذلك ، هناك معارضــة شـعبية كبيرة ضـد اسـتخدام المواد المشـعة . تسـتخدم الطريقة فقط لبعض التوابل وتعقيم الأسـطح ، تقتل الأشـعة فوق البنفسـجية (UV) الميكروبات ، ولكنها تخترق فقط السـوائل الرائقة ، وتسـتخدم في بعض الأحيان لتعقيم الماء وأيضاً لإزالة تلوث السطح . أي من هذه الطرق ليست ملائمة لتثبيط الإنزيمات .

- نبضـــات مجال كهربي ، أي نبضـــات قصـــيرة لمجال كهربي عال . يمكن أن تقتل مثل هذه النبضـات الميكروبات بتحطيم غشـاء الخلية . وكلما كانت أبعاد الخلية أصـغر ، تكون الحاجة لاسـتخدام مجال ذي شـدة أعلى ، ويكون من الصـعب قتل الجراثيم . تكون الإنزيمات عادة صعبة القتل بهذه الطريقة .
- إزالة الميكروبات . والتي لها ميزة واضـــحة في أن التفاعلات الكيميائية لا تحدث . ومن ناحية أخرى لا يتم تثبيط الإنزيمات ولا يمكن أن يتم إزالة الميكروبات بالكامل . الطريقة المناســبة وغير المكلفة هي الترشيح الفائق (انظر تحت فصل 1.1.12) . والسبب وجود فتحات صغيرة جـداً ، حوالي 0.5 ميكرومتر ، حيـث تزال أيضـــاً كريـات الـدهن ، وبعض جســـيمـات الكـازين . وهذا ما يجعل الطريقة غير عملية لكثير من المنتجات اللبنية . وتســـتخدم للماء والمحلول الملحي للجبن وكذلك بالاشـتراك مع وحدة عمليات أخرى ، ومع اللبن السـائل (انظر تحت فصـــل 3.1.16) . طريقة أخرى هي التخلص من البكتيريا Bactofugation أي إزالة البكتيريا وخاصـــة الجراثيم في فاصـــل باســـتخدام الطرد المركزي . ويعمل عند درجة 70 درجة مئوية وجزء من الكازين يفصـــل أيضـــاً (انظر فصـــل 2.8) . تطبق هذه الطريقة على اللبن في بعض المعاملات الخاصة .
- التجفيف . عند التركيزات العالية للمواد الذائبة في الماء ، أغلب الكائنات الحية الدقيقة يقف نموها ، ربما بســـبب محتوى الخلية أصـــبح مركزاً للغاية . هناك اختلاف كبير بين الميكروبات وطبيعة المذيب ، ولكن تركيز مناظر للنشـــاط المائي تحت 0.65 يكفي في أغلب المنتجات اللبنية . يكون اللبن الجاف خالياً من النمو البكتيري (انظر تحت فصـل 5.1.10) لكي توقف النشاط الإنزيمي ، تحتاج إلى أنشطة مائية منخفضة تحت 0.2 أو أقل .
- التجميـد ، يســـبـب هـذا تجميـد التركيز ويعمـل عملاً ممـاثلاً للتبخير أو التجفيف (انظر فصـل 2.11) بالإضـافة إلى ذلك ، تكون درجة الحرارة منخفضـة لدرجة أن نشـاط البكتيريا والفعل الإنزيمي يكون بطيئاً للغاية .

- الحفظ المتوســـط . يعني هـذا تركيزاً عـاليـاً من الأملاح (مثـل الجبن) ، الحـامض الألبـان المتخمرة ، أو الســـكر (اللبن المكثف المحلى) . تعمل الأحماض في شـــكلها التكتلي ، وعلى ذلك تحتاج إلى حموضــة منخفضــة لكي نقلل من تجمعها ولكي تكون فعالة . يمكن أن تقلل الأحماض والأملاح بصورة ملحوظة فعل الإنزيم ، بينما لا تقدر السكريات العاملة . تؤثر المواد الحافظة على خواص المنتج وخاصة النكهة .
- المطهرات . يجب ألا تضـــاف إلى اللبن أو المنتجات اللبنية أبداً . لأنها يمكن أن تكون ضـــارة وتعطي نكهة غير مقبولة . وتستخدم لتطهير الأسطح (انظر فصل 3.14) .
- مثبطات معينة للبكتيريا الموجودة في اللبن تم مناقشتها في تحت فصل 6.1.5 . يمكن أن تدعم المثبطات (بإضـــافة فوق أكســـيد الهيدروجين والثيوســـيانات لجهاز البروكســـيديز المناعي) أو كميات إضـافية يمكن أن تضـاف (مثل الليسـوزيم) . مثبطات متخصـصـة (مثل المضـادات الحيوية) تصـنع أيضـاً بواسـطة بكتيريا عديدة تسـتخدم في إنتاج اللبن المخمر . تضـاف بعض المضـادات الحيوية لمنتجات معينة مثل نيسـين Nisin . يثبط زيادة تركيز ثاني أكسـيد الكربون (بـ $20M_m$) نمو بعض البكتيريا سالبة الجرام ، توجد مثبطات متخصصة لإنزيمات أيضاً ولكنها لا تستعمل في التطبيق العملي .
- خفض تركيز المواد الأساسية ، مثال معروف هو استنفاد الأكسجين نتيجة لاستهلاك البكتيريا التي تثبط أو تمنع نمو الأعفان والبكتيريا الهوائية . لا تحتوي أنواع كثيرة من الجبن على ســـكر ، نتيجة فعل البكتيريا ، تمنع بكتيريا أخرى عديدة من النمو .
- منع إعادة التلوث . وهذا يحتاج إجراءات صـحية صـارمة (فصـول 4.5 و 3.14) بالإضـافة إلى قوانين صـارمة للمراقبة ، ولتغليف مناسـب (فصـل 15) . وأخيراً يمكن أن يحدث الحفظ بعدة إجراءات . وأهم مثال هو الجبن (فصـل 3.23) . تكون الألبان المخمرة والآيس كريم أيضـاً في هذه المجموعة .

3.6 تأكيد الجودة *Quality Assurance*

إن تأكيد الجودة هو مؤشر هام في جميع مصانع الأغذية ومداولتها . وتشمل نظاماً متكاملاً للأنشطة التي تؤكد أن المنتجات تفي بمؤشرات الجودة المعتمدة . سوف تناقش جوانب معينة خلال هذا الكتاب . يقدم فصل 3.20 وصفاً تفصيلياً للتحكم بالنوعية الصحية في تصنيع مسحوق اللبن . سيتم سرد بعض الاعتبارات العامة في تحت الفصول التالية .

1.3.6 المفاهيم *Concepts*

يمكن أن تعرف الجودة بطرق عديدة . تعريف معروف جيداً (بواسطة ج.م.جيران) هو "تكون الجودة ملائمة للاستعمال" ويحتاج هذا بعض الإتقان . تكون المنتج أو الخدمة مناسبة للاستخدام إذا كانت تفي بتوقعات المستخدم . إلا أن ذلك ليس سهلاً أن نوضح بالضبط هذه التوقعات . لأن التوقعات مختلفة ، غالباً بصورة واسعة بين المستهلكين ، وعادة ما تعتمد على الظروف التي عندها يباع أو يستخدم المنتج . بالإضافة إلى ذلك ، تكون عدة علامات متعددة للجودة عالية الفعالية ، ومن الصعب ترجمة ذلك إلى جودة للمنتج يمكن قياسها . لا تعني الجودة العالية أن المنتج مطابق للمتطلبات التشريعية أو الأفكار المعلنة سلفاً عن عملية التصنيع ، متخصصو التسويق والفنيون يجب أن يتعاونوا في وضع علامات الجودة المرغوبة .

يلعب أخصائيو التغذية دوراً أساسياً في ترجمة جوانب الجودة إلى معايير مُعرفة وفي تطوير الطرق ، لتعيين أي مدى يكون المعيار قد تحقق . في فصل 1.6 ، تم وضع قائمة بجوانب الجودة لبعض من هذه المعايير ، القيمة يمكن أن تحسب بطريقة أو أخرى من الطرق الفعالة (مثل الأمان ، فترة العمر ، التبدد والاندثار dispersibility) وبعضها يمكن فقط أن يُقيّم بميزان المستهلك (مثل النكهة) . بذلت محاولات لوضع علاقة بين الخواص الفعلية للمنتج وأراء المستهلكين ، ومثال

ذلك ، حموضة أو محتوى ثنائي الأسيل في الألبان المخمرة ونكهتها ، أو بين القياسات الريولوجية والملاحظات الفعلية في عملية فرد الزبدة .

للتأكد من الحصول على جودة عالية ، فإنه لا يكفي أن نعرف المعيار الخاص بها ثم بعد ذلك تتحقق إذا كانت تفي بالغرض أم لا . الجودة يجب أن تراقب وعلى ذلك فهي وظيفة إدارية . المساعي الحالية عبارة عن نظام متكامل أو إدارة كاملة للجودة Total quality management وهي تشمل تكاملاً في اتجاهات ثلاثة .

1. سلسلة مرور المنتج أي من المزرعة إلى المستهلك . وربما تبدأ من قبل المزرعة . وعلى سبيل المثال في تصميم آلات الحلب أو في نوعية مركزات العلف المقدمة للأبقار ، يشمل توزيع المنتجات أيضاً خطوات عديدة يمكن أن تضاف إلى جودة المنتج .
2. للمنتج بالمعنى العريض ، شاملة الخدمة وهذا قد يشمل الطريقة التي يصل بها المنتج إلى المستهلك والمعلومات التي تعطى عن المنتج .
3. وضع نظام محدد لكل قسم يحدد سير العمليات التصنيفية وتحديد جودة كل عملية .

أن مفهوم الجودة يجب أن يبني من البداية : في التعريف بالمنتج ، ووضعه في السوق ، في تطور عملية التصنيع ، في تصميم المعدات (أي القدرة على تنظيفها) ، في مواصفات المواد الخام ، في وضع الخطط اللوجستية لتوزيع المنتج ... الخ . وبمعنى آخر تبدأ الجودة مع التصميم design : هل يمكن عمل منتجات جيدة بواسطة الخطة المدروسة ؟ السؤال التالي هو هل الجودة المرغوبة يمكن إعادة إنتاجها ؟ هل كل بند منتج يستجيب مع معيار الجودة المطلوبة ؟ بالنسبة للأخير ، يجب تجهيز نظام مراقبة . إلا أن القاعدة العامة يجب أن تكون أن المنع خير من العلاج .

هناك اهتمام كبير وهو سلامة المنتج بالنسبة للمستهلك . يمكن أن يحتوي اللبن على عدة أنواع من البكتيريا الممرضة . لأن وجودها يتحدد بالصدفة ، ولأن خلية بكتيرية واحدة يمكن أن تكون ذات خطورة عالية ، لأن بعض مسببات الأمراض يمكن أن تنمو في اللبن . السلامة لا يمكن

ضـــمانها بواســـطة اختيار واختبار العينات . ومن الناحية العملية ليس من الممكن أن نفحص كل وحدة من المنتج وبالتالي فإن احتياطات أخرى يجب إتباعها مثل :

1. معاملة اللبن الخام بطريقة ما بحيث أن كل البكتيريا الممرضـــة التي يمكن أن توجد في اللبن يتم قتلها .
2. منع إعادة تلوث المواد الوســـطية والمنتج النهائي . ويتطلب هذا تدابير صـــحية محكمة وتغليفاً متقناً .
3. تحويل المادة إلى منتج بحيث لا تستطيع الميكروبات من النمو فيه ؛ مثال جيد هو اللبن المتخمر ، أي مسببات مرضية موجودة سوف تموت .

مجموعة من هذه المعاملات الثلاث ســـوف يقدم الفرصـــة الأقل لوقوع الحوادث : إلا أن كل هذه الاحتياطات وخاصـــة النوع الثالث منها ، لا يمكن أن تؤخذ دائماً . وبالتالي يجب أن يتم تطبيق فحوصات شديدة ونظام مراقبة صارم .

إن المخاطر الصـــحية نتيجة لتركيزات المادة الســـامة أو المســـرطنة في المنتج تكون نادرة في المنتجات اللبنية ، تكون معظم الملوثات بالمواد الخطرة محصـــــورة في مزرعة واحدة ، ويتم التخفيف بواسطة خلط اللبن مع ألبان مزارع أخرى ، عادة ما يكون التركيز في المنتج النهائي أقل من مستوى التســـمم . ســـوف يعطي أخذ عينات من المنتج النهائي فكرة عامة عن التلوث ، ســـوف يحدد أخذ عينات من كل الخزانات وبالتالي من الموصلين كل على حدة مصدر التلوث .

2.3.6 نقاط التحكم الحرجة لتحليل المخاطر

Hazard Analysis Critical Control Points (HACCP)

HACCP هي طريقة تجرى لعملية إنتاج موجودة ، احتياطات المراقبة التي تكون أســـاسية للتأكد من ســـلامة المنتج ، يمكن أن تســـتخدم نفس الطريقة لخواص جودة أخرى ، ولكن التأكيد يكون على ســـلامة المنتج . HACCP يجب أن يطبق منفرداً على كل عملية تصـــنيعية للمنتج ، وهذا يعني نظاماً منفصلاً لكل منتج أو مجموعة من المنتجات ذات العلاقة . تكون الملامح الرئيسية

للطريقة ما يقوله الاســـم : عمل تحليل للمخاطر المحتملة ، تعريف النقاط الحرجة في العملية التصنيعية ، وتثبيت معيار التحكم ، تعرف النقطة الحرجة بأنها نقطة يجب مراقبتها لتأكيد السلامة والجودة الجيــدة . ويمكن أن يكون هنــاك عــدة نقـط أخرى (خطوات تصــــنيعيــة أو مواصـــفـات المنتج) يمكن التحكم فيها . لأن التحكم في نقطة حرجة أخرى يعين ويعرف العيوب .

HACCP أيضاً نظام مراقبة يستخدم بعد أن يكون التحليل قد تم . ويشتمل على تدابير تصحيحية عند الاحتياج إليها ، أي تأثير راجع أو حلقات مراقبة تضبط متغيرات العملية التصنيعية إذا احتجنا إليها ؛ مثال بسيط هو ضبط درجة التسخين . دراسة الـــ HACCP يمكن أن توضح أن العملية التصنيعية يجب أن تتغير لكي نسمح بتحكم فعال .

يعطي كتيب التعليمات تفاصـــيل أكثر ، كما هو موضـــح في جدول 1.6 . المنتج واستعمالاته يجب أن توصف بالتفصيل . توصف العملية التصنيعية بدقة في شكل رسم بياني ، يشمل نقاط المراقبة لكي نضبط العملية (مثل الحرارة وسرعة التدفق ، شدة الخلط ومعدل سرعة إضافة المكونات) . تحلل كل خطوة في العملية لمعرفة مخاطرها المحتملة ، ويكون هذا مقيماً ومعلومةً كميته . ثم يحلل بعد ذلك لكي نعرف أي الاحتياطات يمكن أن تتبع لتقليل المخاطر ، وفي النهاية نقرر ، على أســـاس المعايير التقســـيمية ، إما أن تحدد نقطة تحكم حرج أم لا . وإذا كان ذلك بالإيجاب ، فإن مخطط المتابعة يصـــمم ، النقطة الأســـاســـية هي التي تكون عندها تردد المتابعة nonitoring frequency . تكون زيادة نقطة تردد المتابعة غير ضـــروري لأنه مكلف ويميل على عدم حث العاملين . المتابعة نادراً ما تؤدي إلى مخاطر غير مقبولة . تطبق هذه الطريقة على كل خطوة في العملية التصنيعية مؤدية إلى نظام HACCP كامل . بالإضافة إلى ذلك ، يجب أن تتطور خطة الفعل التصحيحي ، بمعنى أي احتياطات يجب اتخاذها عندما نلاحظ بعض الشواهد الحرجة التي تكون خارج الحد المسموح به . يجب أن يقيم النظام بانتظام ويتم تصحيحه أثناء استخدامه ويطور حين الحاجة .

هناك جانب هام وهو أن أنظمة الـــ HACCP لا يمكن نســخها . فكل مصــنع له خصوصيته في العمليات التصنيعية المطبقة ، وفي ظروف خارجة ومقيدة . بالإضافة إلى ذلك يكون تطوير وإعادة تقييم النظام بواسطة أشخاص ذوي علاقة بالتطبيق من المتطلبات الواجبة لنجاحه ، وبالتالي ســوف لا يقدم هذا الكتاب وصــفات لنظام HACCP لمنتجات معينة ، بالرغم من أن المخاطر المحتملة والنقاط الحرجة في العملية التصنيعية سوف يشار إليها .

3.3.6 تأكيد الجودة في اللبن الخام *Quality Assurance of Raw Milk*

كما ذكرنا سابقاً ، يشمل تأكيد الجودة الكلية سلسلة كاملة ابتداءً من إنتاج اللبن الخام إلى استهلاك المنتجات اللبنية ، ولعل الحصول على نوعية عالية الجودة من اللبن الخام هو موضوع خاص ويهم في النهاية مصـــانع الألبان ، وهذا لأن في إنتاج اللبن هناك خطوات كثيرة وجوانب تلعب دوراً وتكون لكثير من المنتجين علاقة منفردة . ويوضـــح الجدول 1.6 العلاقات بين مزارع الألبان والعالم الخارجي ، ويتبع ذلك أن مقاييس تأكيد الجودة يجب أن تتبع في عملية توزيع المنتجات اللبنية .

إن لجودة اللبن الخام جوانب عديدة وأهمها هي التركيب العام والجودة الصـــحية ، الأولى يمكن أن تقيم بواسطة تقدير المحتوى من البروتين والدهن في عينات عشوائية . يحدد ثمن اللبن الخام تبعاً لمكوناته . يقابل تأكيد الجودة الصـحية مشـاكل كثيرة ، لأن معظم الأخطاء تؤدي إلى جودة ضعيفة يمكن أن تحدث ، ولأن أخذ العينات والتحليل لكل عينة تباعاً تكون مكلفة للغاية . سوف تختلف كثيراً الإجراءات الحقيقية التي تتخذ مع الظروف المحيطة ، المشـــاكل ، والتنظيمات ، ولكن على أي حال يجب أن يجمع اللبن ويحلل على قواعد منظمة . يعتمد نجاح تأكيد نظام الجودة على عدد من الشروط :

1. يجب أن يكون المزارع ملماً بالمخاطر والعلاج ، ويجب أن يسلّم للبيع لبناً عالي النوعية . ويعني هذا أن التدريب والمعلومات يجب أن تتوافر .

2. يجب أن يُدعم المزارع مالياً لإنتاج لبن عالي الجودة وصحي ويجازى لبيع لبن مغشوش أو غير صحي .

جدول 1.6 خطوات تطوير نظام مراقبة لتصنيع منتج غذائي طبقاً لمجموعة التصميم الصحي الأوروبية

Table 6.1 Procedure for Developing a Control System for the Manufacture of a Food Product, According to the European Hygienic Design Group

Action الفعل		Stage المرحلة
Define terms of reference	حدد شروط المرجع	1
Select the HACCP team	اختار فريق نقاط التحكم الحرجة لتحليل المخاطر	2
Describe the product	صف المنتج	3
Identify intended use of product	عرف استخدامات المنتج المطلوبة	4
Construct a flow Diagram	ارسم شكل بياني	5
On-site verification of flow diagram	تحقق من مكان الشكل	6
List all hazards with each process step and list all measures which will control the hazards	اذكر كل المخاطر في كل خطوة تصنيعية ثم اذكر كل الاحتياطات التي سوف تتحكم في المخاطر	7
Apply HACCP decision tree to each process step in order to identify CCPS	طبق شجرة قرار HACCP لكل خطوة عملية لكي تعرف الـ CCPS	8
Establish target level (s) and tolerance for each CCP	كون مستوى الهدف أو الأهداف واحتمال كل CCP	9
Establish a monitoring system for each CCP	كون جهاز مراقبة لكل CCP	10
Establish a corrective action plan	كون خطة عمل تصحيحية	11
Establish record keeping and documentation	كون حوافظ تسجيل	12
Verification	التحقيقات	13
Review the HACCP plan	استعرض خطة الـ HACCP	14

ملاحظة CCP = نقطة التحكم الحرجة .

HACCP = نقاط التحكم الحرج لتحليل المخاطر .

Note: CCP = critical control point; HACCP = hazard analysis/critical control points.

3. إذا واجه المزارع صعوبات في إنتاج لبن عالي الجودة ، فيجب أن تقدم له مساعدة في تشخيص السبب وإيجاد الحلول .

4. إذا اشتبه المزارع أن لبنه بالمصادفة قد أصبحت نوعيته فقيرة بسبب خلل في التبريد ، فيجب عليه أن يبلغ المصنع . ويمكن أن يجمع اللبن منفصلاً وأي غرامة مالية لهذا اللبن ذو النوعية الفقيرة يجب أن تكون محصورة فقط عن هذه الكمية .

مشكلة أخرى هي المواد الخام للتركيزات (علف الأبقار) تكون في بعض الأحيان ملوثة بمواد يمكن أن تصل إلى اللبن ، مثل الألفاتوكسينات (سموم فطرية) . الحل الأنسب يبدو أن صناعة الألبان وصناعة أعلاف الماشية يتفقان على حل لهذه المشاكل .

وبدون شك ، فإن اللبن غير المقبول من ناحية جودته الصحية يجب دائماً أن يرفض ، ومن ناحية أخرى . يجب ألا تكون معايير جودة اللبن الخام أكثر تشدداً من المطلوب لكي تصنع منتجات لبنية آمنة وذات نوعية جيدة .

4.6 نقل وتخزين اللبن ***Milk Storage and Transport***

تهدف عملية نقل وتخزين اللبن إلى الحصول على لبن عالي الجودة وتوافرها أينما ومتى احتجناها للتصنيع ، اللبن يجب أن لا يتلوث بالميكروبات الحية الدقيقة ، المواد الكيميائية ، الماء أو أي مادة أخرى . ومن الواضح أن تكون تكلفة التخزين والنقل منخفضة والتي تتضمن أيضاً على سبيل المثال الفقد في اللبن يجب أن يكون محدوداً . يجب أن يكون تنظيف فعال وبسيط لجميع المعدات المستخدمة ممكناً . بالإضافة إلى ذلك يكون تسجيل مرضي للفقد الحقيقي مطلوباً . تحدد أغلب المصانع الكتلة وميزان الدهن على أساس يومي . يشير النقل والتخزين إلى اللبن الخام وكذلك المنتجات الوسطية .

1.4.6 جمع اللبن واستقباله *Milk Collection and Reception*

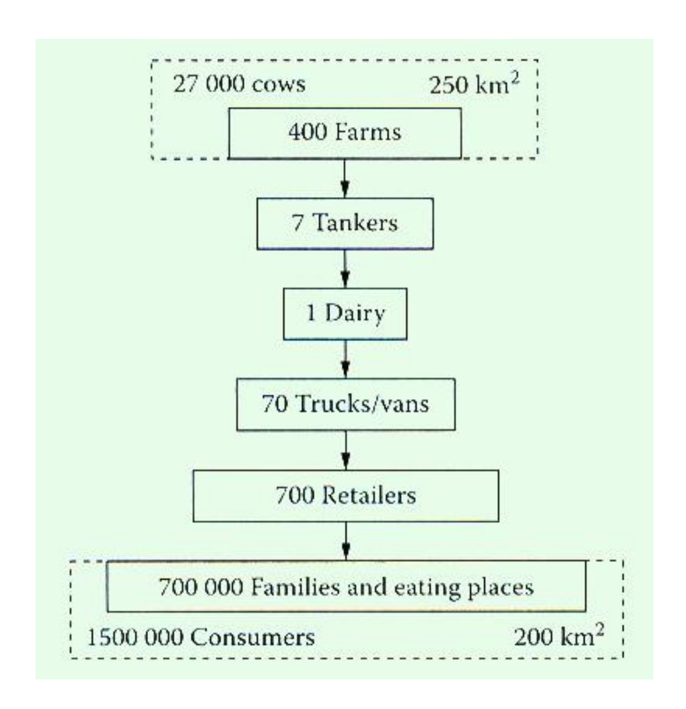
يورد اللبن إلى مصانع الألبان في صفائح أو بواسطة صهاريج بعد أن يخزن بارداً في المزرعة (صهاريج اللبن) . خلال نقل اللبن في صفائح عادة ما تكون درجة حرارته أقل من 10 درجات مئوية . ولكن يمكن أن تتراوح بين صفر و40 درجة مئوية حسب الطقس . وبالتالي عادة ما يحدث النمو البكتيري بين الحلب ووصول اللبن إلى المصنع ، ويمكن أن يستغرق هذا يوماً . يعتمد مدى النمو البكتيري أولاً على المستوى الصحي أثناء الحلب ، درجة الحرارة وفترة التخزين (انظر تحت فصل 5.1.5) . يكون فساد اللبن عادة بواسطة البكتيريا المحبة للحرارة وعادة ما يشمل التخمر بواسطة حامض اللاكتيك . إلا أن التلوث الثقيل بالماء الملوث (بكتيريا بسيدوموناس *Pseudomonas* يمكن أن يسبب الفساد غير المر . يبرد اللبن عند الاستقبال في مصانع اللبن إلى أقل من 6 درجات مئوية ، والتي تساعد في تثبيت النوعية البكتيرية لمدة يومين .

إن خزانات أو صهاريج اللبن دائماً تحفظ على درجة حرارة منخفضة ولكن لمدة أطول ، وعادة ما تحتوي على بكتيريا محبة للبرودة وعادة ما تحتاج معاملة مختلفة عن اللبن في صفائح من بين مميزات اللبن في الصهاريج عن اللبن في الصفائح هو تكاليف النقل الأرخص والمدد المنتظم للبن جيد النوعية ، بشرط أن تكون درجة حرارة اللبن عند المزرعة وأثناء النقل مراقبة بصورة مرضية .

في الاستقبال ، تسجل أولاً كمية اللبن . وفي المصنع يوزن اللبن في الصفائح بواسطة ميزان الرصيف . تحدد كمية لبن الصهاريج بواسطة قياس خط اللبن بالمتر في الصهريج ، ثم بعد ذلك يتحول الحجم إلى الوزن .

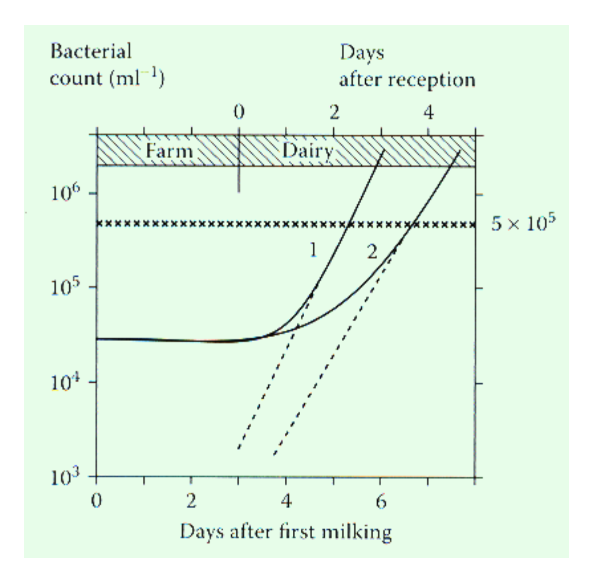
يجب أن يفحص اللبن المجمع روتينياً لمعرفة إمدادات اللبن فقير الجودة . فحصاً سهلاً وسريعاً للخواص الحسية والتي تشمل الرائحة والمظهر ودرجة الحرارة ، بالإضافة إلى ذلك سوف

تكون أنابيب سـحب لبن الصـهاريج مزودة باسـتمرار بترمومتر ومقياس للأس الهيدروجيني والتي سوف تغلق مضخة سحب اللبن . إذا كانت القيمة المسجلة تزيد على المستوى السابق تقديره ، بشكل طارئ ، يكون من السهل التعرف على النكهة غير المرغوبة في اللبن الساخن في الصفائح عن لبن الصهاريج . ويجب أن تحس حموضة اللبن بسهولة أكثر من نمو البكتيريا المحبة للبرودة . بالإضافة إلى هذه الاحتياطات البسيطة ، يمكن أن يختبر اللبن في المعمل في مصانع الألبان عن وجود المضادات الحيوية ، وكذلك عن انخفاض درجة التجمد ، الحموضة والعد البكتيري .



شكل 1.6 العلاقة بين المزرعة ومنتجيها للبن الخام ومستهلك المنتجات اللبنية السائلة . سوف تكون الكمية الكلية للبن المصنع 2.10^8 كيلوجرام في السنة . مثال مبسط وافتراضي

Figure 6.1 Relations between a dairy, its producers of raw milk, and its consumers of liquid milk products. Total quantity of milk processed would be 2.10^8 kg per annum. Hypothetical and simplified example. (Courtesy of M.G. van den Berg)



شكل 2.6 نمو البكتيريا المحبة للبرودة والبكتيريا الملوثة الأخرى لأوقات الجيل المختلفة (g) في لبن الصهاريج عند درجة 4 مئوية . أمثلة محسوبة . العد الكلي (-) عدد البكتيريا المحبة للبرودة (...) ، الحد الأقصى المرغوب لتصنيع (xxx) نمو سريع للبكتيريا الملوثة ، g = 6 ساعات ؛ 2. البكتيريا الملوثة g = 8 ساعات

Figure 6.2 The growth of psychrotrophic and other contaminating bacteria of different generation times (*g*) in tank milk at 4°C. Calculated examples. Total count (–), number of psychrotrophs (---), desirable upper limit for processing (xxx). 1. Fast-growing contaminating bacteria, *g* = 6 h; 2. Contaminating bacteria of *g* = 8h

1. النمو السريع للبكتيريا الملوثة ، g = 6 ساعات ، 2- البكتيريا الملونة لـ g = 8 ساعات

وننصح بأن استقبال اللبن في صفائح في مصنع الألبان يكون بأسرع وقت ممكن بعد الحلب ، ويحدث هذا ضمنياً مرتين في اليوم للجمع . وغالباً يكون هذا غير عملي ، وتكون الحلبة المسائية مبردة بواسطة العملية المسائية الرئيسية . يمكن أن يتلف الجمع مرة واحدة يومياً جودة اللبن في الصفائح بشكل خطير . يجب أن يبرد لبن الصهاريج إلى أقل من 4 درجات مئوية . بعد أربعة أيام أو خمسة من الحفظ يمكن أن يحدث نمو للبكتيريا المحبة للبرودة (تحت فصل 2.4.6) وبالتالي

يمكن أن يحفظ لبن الصهاريج في المزرعة لمدة ثلاثة أيام أي ست حلبات ويخزن ليوم آخر في مصنع الألبان قبل تصنيعه .

قد يلوث اللبن أثناء النقل إذا كان الصهريج غير نظيف ، يمكن أن يلوث لبن الصهاريج اللبن بأعداد كبيرة من البكتيريا المحبة للبرودة . ويعني هذا أن التنظيف الشديد للصهاريج والمراقبة الروتينية تكون أساسية . بالإضافة إلى ذلك يجب أن يحفظ اللبن أثناء النقل في درجة حرارة منخفضة أي أقل من خمس درجات .

ويجب أن نلفت الانتباه إلى أن الإجراءات المذكورة في الفصول السابقة سوف تؤكد نجاح جودة المادة الخام الموردة . كمية صغيرة من اللبن منخفضة النوعية سوف يكون لها تأثير قليل نتيجة لتخفيفها في صهاريج الحفظ الكبيرة للمصنع ، إلا أن ، المدد من اللبن رديء الجودة يجب أن يستبعد .

2.4.6 تخزين اللبن ***Milk Storage***

تؤثر الاختلافات في المكونات والخواص والجودة للبن الخام بصورة مباشرة على العملية التصنيعية وعلى مكونات ونوعية المنتج النهائي ، ولذلك تكون غير مرغوبة ، بعض الاختلافات لا يمكن تجنبها ولكن خلط الألبان الموردة من أماكن مختلفة في صهريج كبير يحتوي مثلاً على 300 ألف كيلوجرام من اللبن تكون نتيجته اختلافاً قليلاً بين كميات اللبن في خلال يوم أو يومين .

1.2.4.6 النمو البكتيري ***Bacterial Growth***

تحدد الفترة التي يمكن أن يحفظ فيها اللبن الخام في صهاريج الحفظ عادة بنمو البكتيريا المحبة للبرودة . تكون أعداد البكتيريا قبل عملية التصنيع أكثر من 5.10^5 مليلتر$^{-1}$ في اللبن ، وهذا له محاذير لأن البكتيريا المحبة للبرودة قد أنتجت إنزيمات تتحمل الحرارة ، أي الليبيز والبروتيناز اللذان تنتجهما البكتيريا واللذان يمكن أن يفسدا جودة المنتج النهائي . من المهم أن نشير إلى أن عدداً بكتيرياً عالياً ناتجاً عن خلط كمية صغيرة من اللبن تحتوي على كثير من البكتيريا المحبة للبرودة مع

كمية كبيرة من اللبن به عد بكتيري منخفض يكون أكثر ضرراً من نفس العد الناتج من نمو محدود في الكمية الكلية ، وهذا لأن الإنزيمات خارج الخلية تكون سـائدة في نهاية طور النمو اللوغارتمي (الأسـي) . أمثلة لنمو البكتيريا المحبة للبرودة وبكتيريا أخرى في اللبن أثناء التخزين في المزرعة وفي مصنع الألبان تكون موضحة في الشكل 2.6 . ابتداءاً من التخزين في المزرعة يبقى العد الكلي ثابتاً ويبدأ في الزيادة بعد 4 أو 5 أيام . يكون التأخير في نمو البكتيريا المحبة للبرودة إلى أعداد كبيرة عادة راجعاً إلى امتداد طور الخمول أو السكون lag phase عند درجة حرارة منخفضة . إلا أن هناك بداية تلوث منخفض جداً مع بكتيريا سريعة النمو ، أي أقل من 10 مليلتر$^{-1}$ أي من لبن الصهاريج يمكن أن يكون أيضاً مسئولاً عن التأخير كما هو موضح في شكل 2.6 .

اعتماداً على عمر اللبن المورد للمصنع ، والذي يمكن أن يخزن ليوم أو اثنين بدون أي معاملة ، اللبن المجمع المورد يجب أن يبرودة إلى أقل من 4 درجات مئوية لأن درجة حرارة اللبن يمكن أن ترتفع أثناء النقل من المزرعة إلى المصنع . ويقصر زمن الجيل البكتيري بصورة ملحوظة عند درجات حرارة عالية (انظر جدول 2.5 وشكل 5.5) . عادة ، ما يكون المصنع غير قادر على تصنيع كل اللبن المورد في خلال أربعة أيام من الحلب . وبالتالي يجب أن تتبع الاحتياطات التي تحافظ على اللبن الخام لمدة أطول . البسترة (عند 72 درجة مئوية لمدة 15 ثانية) غير مرغوبة لأنها سوف تتم لاحقاً ، ويمكن أن تفسد البسترة مرتين جودة المنتج النهائي . معاملة حرارة معتدلة أي 65 درجة مئوية لمدة 15 ثانية تسمى Thermalization تقلل أعداد البكتيريا المحبة للحرارة بصورة ملحوظة تاركة أغلب إنزيمات اللبن والأجلوتينات سليمة (فصل 3.7) . يمكن للبن بعد المعاملة الحرارة أن يحفظ لمدة 3 أو 4 أيام عند درجة حرارة 6 إلى 7 درجات مئوية بدون زيادة العد البكتيري ، بشرط عدم حدوث التلوث بالبكتيريا المحبة للبرودة .

يجب أن يسخن اللبن في أسرع وقت ممكن من وصوله إلى مصنع الألبان ، عملية التسخين هي أفضل طريقة للتحكم في جودة المنتجات اللبنية عن تبريد اللبن الخام ، ولكنها أيضاً

أكثر كلفة . لأن كثيراً من البكتيريا تتحمل التســـخين ، على اعتبار أن النمو البكتيري يمكن أن يحدث عند درجة حرارة تتراوح بين 30 إلى 40 درجة مئوية في جزء التجدد من المبادل الحراري (تحت فصل 4.4.7) . ولهذا ، فإنه من الضروري أن ننظف الأوعية بعد العمليات التصنيعية من 4 إلى 6 ساعات . جودة اللبن المسخن يمكن أن تهدد بوجود أي بكتيريا محبة للبرودة يمكن أن تكون مقاومة للحرارة مثل بكتيريا ***Alcaligenes tolerans*** . تختبر جودة اللبن عادة بعد وصـــوله إلى المصنع . وننصح أن يعاد الاختبار ثانية قبل عملية التصـنيع ، جودة اللبن القياسـية قبل التصـنيع موضحة في الجدول 2.6 .

جدول 2.6 أمثلة من جودة اللبن المجمع القياسية قبل التصنيع

Table 6.2 Examples of standards for (polled) Milk befor Processing

نوعية الجودة Quality Mark	القياسية Standard	الحدود القصوى Absolute limit	الوحدة Unit
الحموضة Acidity	17	≤18	مليمو/لتر m mol/1
العد (لبن خام) Count	250>%95;100	<500	μl^{-1} ميكرولتر$^{-1}$
العد (لبن مسخن) Count	100>%95;50	<250	μl^{-1} ميكرولتر$^{-1}$
بكتيريا مقاومة للحراة Heat-resistant bacteria	10>%95;5	<25	μl^{-1} ميكرولتر$^{-1}$
باسيلس سيريس *Bacillus cereus*	0.2>%95;0.1	≤1	μl^{-1} ميكرولتر$^{-1}$
حموضة الدهن Fat acidity	0.8>%95;0.6	≤0.9	مليمول/100 جرام Mmol/100g
انخفاض نقطة التجمد Freezing-point depression	520-525	>515	ملي كلفن mk
المضادات الحيوية Antibiotics	غير مقدرة		
مطهرات Disinfectants	غير مقدرة		

2.2.4.6 نشاط الإنزيم *Enzyme Activity*

يعتبر نشـاط الليبيز عادة هو المشـكلة الرئيسـية في اللبن الطازج (تحت فصـل 5.2.3) ، بالرغم من أن بعض إنزيمات اللبن مثل البروتييز والفوسـفاتيز تسـبب تغيرات أيضـاً ، وعلى ذلك ، يجب تجنب تذبذبات كبيرة في درجة الحرارة في حدود من 5 إلى 30 درجة مئوية وهدم لكريات الدهن (انظر النص التالي) .

3.2.4.6 تغيرات كيميائية *Chemical Changes*

يجب تجنب التعرض للضوء لأنه ينتج عنه نكهات غير مرغوبة (فصل 4.4) ، التلوث بماء الشطف (يسبب التخفيف) ، المطهرات تسبب أكسدة ، وخاصة مع النحاس (مادة مساعدة تحفز أكسدة الدهن) يجب تجنبها .

4.2.4.6 تغيرات فيزيائية *Physical Changes*

إن التغيرات الفيزيائية الأساسية التي يمكن أن تحدث أثناء التخزين هي كما يلي :

1. اللبن الخام أو المسخن يحفظ عند درجة حرارة منخفضة ، تتكون القشدة بسرعة (تحت فصل 2.4.2.3) . يمكن تجنب تكوين طبقة القشـدة بواسـطة تقليب منظم للبن مثل التقليب لعدة دقائق كل سـاعة . وعادة يحدث هذا بواسـطة التهوية Aeration ، ويجب أن يكون الهواء المسـتخدم معقماً ، لأسـباب واضـحة ، وتكون فقاعات الهواء كبيرة إلى حد ما ، لكي لا يحدث إدمصاص لكثير من كريات الدهن (انظر نقطة 2) .
2. يحدث هدم لكريات الدهن بواسـطة دمج الهواء والتذبذب في درجات الحرارة الذي يسـمح لبعض الدهون أن تنصـهر وتتبلور . يمكن أن تؤدي هذه التغيرات إلى زيادة التحلل الدهني ، وتمزيق كريات الدهن إذا كان الدهن سائلاً ، وتكتل حبيبات الدهن إذا كان صلباً جزئياً (شبه صلب) عند درجات تتراوح بين 10 إلى 30 درجة مئوية .
3. عند درجات حرارة منخفضة يذوب جزء من الكازين ، خصوصاً البيتاكازين ، من الجسيمات وينتهي إلى المصـل . يزيد هذا التفكك لبعض الكازين لزوجة البلازما بحوالي 10% ويقلل

القدرة على تنفيح اللبن ، هذا التفكك هو عملية بطيئة وتصـــل إلى الاتزان بعد حوالي 24 ساعة (تحت فصل 2.2.3.3) . يمكن أن يكون التنفيح المنخفض راجعاً إلى تغيير نشاط أيون الكالسيوم (تحت فصل 4.5.2.2) . يرجع التسخين الموقت للبن إلى 50 درجة مئوية أو أعلى التنفيح بالكامل إلى طبيعته الأصلية .

3.4.6 نقل اللبن في المصنع *Transport of Milk in the Dairy*

يحتاج نقل اللبن في المصنع تحتاج لنظام معقد من خطوط أنابيب ، ومضخات وصمامات وكذلك وحدات تحكم . يجب أن يكون النظام مرناً ، بينما تسـتبعد الأخطاء مثل الانســياب أو التسرب ، أو الخلط غير المتعمد للمنتجات المختلفة . ولكي نوفر أثمان المضخات نستخدم عادة الجاذبية . إن مضخات الطرد المركزي عادة ما تستخدم للبن لأنها تحافظ على دورانه بدون مشاكل كبيرة إذا لم تستطيع تفريغ اللبن ؛ وتعتبر مضخات الطرد المركزي غير مناسبة للمنتجات اللزجة .
التالي بعض الصعوبات المعينة :

1. فقد اللبن Milk loss : هذا يخص البقايا في الأنابيب والمعدات بعد العملية التصنيعية ، فساد وخلط اللبن مع منتجات مختلفة أو مع الماء عندما تكون الصمامات أكثر انفتاحاً switched over ولتأكيد تفريغ مرضـــي للبن ، تجنب "النهايات الميتة" من الأنابيب وتقليل مســاحة السـطح المبلل باللبن ، كل هذه إجراءات واضـحة لتقليل الفقد ، يمكن أن يقلل تقليل القطر (D) للأنابيب يتناســب كمية الخلط التي تحدث بين اللبن والماء ؛ حجم منطقة الخلط مع $D^{2.55}$. اللبن المخفف بـالمـاء يمكن أن يتبخر ، يســتخـدم في إذابـة بودرة اللبن الفرز ، أو يسـتخدم كعلف للماشـية ، تقلل العملية السـليمة التكاليف نتيجة فقد اللبن إلى حوالي 1% من الثمن الكلي للمادة الخام .
2. الإضـــرار باللبن Damage to Milk . يمكن أن يهدم دمج الهواء كريات دهن اللبن . معدلات دمج (شير) عالية ويمكن أن يسبب الدفق المضطرب الشديد أثناء النقل التكتل أي

تكوين كتل مرئية من الدهن خاصة في القشدة . عند نقل القشدة ، فإنه ينصح بتجنب استخدام أنابيب ضيقة وطويلة وعوائق مثل الانحناءات الحادة في جهاز خطوط الأنابيب ، يجب ألا تنقل القشدة عند درجات حرارة بين 10 و 40 درجة مئوية . بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تنخفض لزوجة المنتجات اللبنية مثل الزبادي والكستردا نتيجة لما يحدث أثناء النقل (تكسير غير عكسي في التركيب) .

3. النمو البكتيري ، يمكن أن يحدث تلوث اللبن بالبكتيريا أثناء النقل . خزانات التوازن Balance tanks توضع دائماً قبل أي أنواع من معدات العملية التصنيعية للتأكد من ثبات معدل تدفق اللبن . إذا كانت الحرارة في خزان التوازن عالية وتناسب النمو البكتيري ، فإن الخزان يميل للعمل كمخمر مستمر ويسمح بنمو البكتيريا في اللبن الذي يتم تصنيعه ، ولكي نمنع حدوث هذه المشكلة يوضع خزاناً التوازن بالتوازي ، بحيث أن كلاً منهما يمكن أن يستخدم ؛ وهذا يسمح بتنظيف خزان واحد بينما يكون الثاني في العملية التصنيعية . تاركاً اللبن الخام لبعض الوقت في خطوط الأنابيب غير المعزولة يشجع النمو البكتيري . ويتضح أن مثل هذه الأوضاع يجب تجنبها .

5.6 التقييس أو المعايرة *Standardizing*

تكون تقييس مكونات المنتجات اللبنية مطلوبة لأنها من الاحتياجات التشريعية أو لأن المصنعين وضعوا معياراً لمنتجاتهم ، وغالباً ما يخص المحتوى من الدهن ومحتوى المادة الجافة أيضاً (أو درجة التركيز) ، وفي بعض الأحيان المحتوى البروتيني أو مكون آخر .

من الناحية الاقتصادية . تكون المعايرة المستمرة مطلوبة ، يمكن أن تطبق العكارة أو قياسات الكثافة على محتوى الدهن والكثافة أو معدل انكسار محتوى المادة الصلبة وقياس انعكاس تستخدم الأشعة تحت الحمراء أيضاً لكي نعين محتوى الماء في بودرة اللبن . يمكن في المعايرة المستمرة أن تتحكم الإشارة المقاسة في مكان صمام التحكم أي صمام في خط القشدة أو في أنابيب التزود

بالبخار ، يمكن أن يضبط في هذه الطريقة المحتوى المطلوب . ولإنجاز تلك العلاقة بين العكارة ومحتوى الدهن ، وبين الكثافة ومحتوى المادة الصلبة ... الخ ، في اللبن الأساسي يجب أن يعرف هذا لأن هذه العلاقات لا تكون دائماً هي نفسها . الضبط هو غالباً صعب يسبب التذبذب الكبير الذي يمكن أن يحدث بسهولة ، عندما تكون الضوابط محددة وعلى ذلك فغالباً ما يستخدم الضبط المزدوج ، اعتماداً على إجراءات لكل من حجم التدفق والمتغير المعتمد على التركيز .

بعد المعايرة ، يجب أن يختبر المحتوى المرغوب الأداء المؤقت أو بواسطة التقييم المستمر ، ويتضمن هذا إجراء تعديلاً بإضافة القشدة ، اللبن الفرز ، الماء ، ... الخ . يجب تجنب أي بكتيريا أو أي تلوث بشدة . يجب أن يعامل المركب المضاف بطريقة مماثلة للمنتج نفسه .

تكون المعايرة دائماً عرضة لعدم الدقة لأن نتائج طرق التقدير والقياس أو وزن المكونات ليست دقيقة . وهذا صحيح للتقدير عن طريق الإشراف الحكومي ، وعلى ذلك يجب أن يترك حد معين أي ضعف الانحراف القياسي . في بعض الحالات ، أي محتوى الدهن في مشروبات اللبن ، انحراف قدره ±0.05% دهن يمكن أن يسمح به . بينما يجب أن ينحرف متوسط القيمة خلال فترة ممتدة بأقل من 0.01% دهن من القيمة القياسية المقبولة .

معايرة المنتجات (مشروبات اللبن) بالنسبة لمحتوى البروتين عامة غير مسموح بها . يعتمد القيمة الغذائية وثمن تكلفة اللبن على محتوى البروتين من الناحية التكنولوجية ، ويكون التقييس ممكناً باستخدام الترشيح الفائق .

المراجع المقترحة ***Suggested Literature***

هناك نصوص عدة وكتب مرجعية عن تكنولوجيا اللبن (العمليات والمنتج) ولكن تعتبر أغلب هذه المراجع أولية وبدائية ، ولعل بعض الجوانب المشوقة تمت مناقشتها في :

R.K. Robinson, Ed, Modern Dairy Technology Vol. 1, Advances in Milk Processing and Vol. 2, Advances in Milk Products, 2nd ed, Elsevier, London, 1993.

معلومات تكنولوجية ، ذات طبيعة عامة وتطبيقية في تصنيع المنتجات اللبنية المختلفة :

A.Y. Tamime and B.A. Law, Eds, Mechanization and Automation in Dairy Technology, Sheffield Academic press, Sheffield, U.K., 2001.

كتاب توضيحي جيد ، مفيد في تقديم معلومات عن المعدات والعمليات التصنيعية :

Dairy Processing Handbook, 2nd ed. Text by G. Bylund, Tetra Pak processing systems, Lund, Sweden, 2003, but the treatment of dairy science and technology is weak and not up-to-date.

عدة تطورات عديدة :

G. Smit, Ed., Dairy processing : Improving Quality, Wood head publishing Cambridge, 2003.

مراجع حديثة عن تقنيات حفظ جديدة للمنتجات اللبنية :

F. Devliegere, L, Vermiten, J, Debevere, Int. Dairy, J., 14,273,2004.

كتاب مرجعي عام عن نقاط التحكم الحرجة لتحليل المخاطر :

M.D. Person and D.A. Gorlett, HACCP; Principles and Applications, AVI New York, 1992.

انظر أيضاً :

S. Leaper ed., HACCP: A practical Guide, Technical Manual 38, : Camden Food and Drink Research Association, Camden, U.k., 1992.

7 المعاملة الحرارية *Heat Treatment*

7. المعاملة الحرارية ***Heat Treatment***

تدخل المعاملة الحرارية في تصنيع كل الألبان والمنتجات اللبنية ويكون الغرض الأساسي منها هو قتل الكائنات الدقيقة وتثبيط الإنزيمات أو إنجاز أغراض أخرى ، مثل التغيرات الكيميائية. تعتمد النتائج على شدة المعاملة ، أي اتحاد درجة الحرارة وفترة التسخين . ومن المفيد أن نميز بين التغيرات العكسية وغير العكسية . التغيرات العكسية عادة ما تستخدم عندما ترفع حرارة اللبن لتسهيل بعض التفاعلات أو العمليات مثل تنفيح لبن الجبن ، نمو كائنات البادئ ، تبخير الماء ، أو الفصل باستخدام الطرد المركزي ... الخ .

يمكن أيضاً أن تحدث المعاملة الحرارية تغيرات غير مرغوبة ، بالرغم من أن الرغبة يمكن أن تعتمد على نوع المنتج وعلى الغرض من استعماله . أمثلة ذلك هي الدكانة ، تطور نكهة المطبوخ، فقد القيمة الغذائية ، وقف نشاط مثبطات البكتيريا ، إضعاف القدرة على التنفيح ، ولعل هذا يعني أن المعاملة الحرارية يجب أن تجرى بحذر .

بعد تعريف الأهداف من المعاملة الحرارية ، التفاعلات الكيميائية والفيزيائية المختلفة الحادثة عند درجات حرارة عالية سوف يتم تغطيتها ، وهذا سوف يُتبع بمناقشة سرعة التغيرات الحركية الحادثة ، وفي النهاية سوف تعرض جوانب عملية أكثر للمعاملة الحرارية . ولمصلحة القارئ غير الملم بأساسيات نقل الحرارة Fundamentals of heat transfer فقد تم توضيح بعض الجوانب في الملحق 11.A .

1.7 الأهداف ***Objectives***

الأسباب الرئيسية للمعاملة الحرارية للبن هي الآتي :

1. ضمان سلامة المستهلك ، وهذا يخص قتل مسببات الأمراض مثل ميكوباكتيريم تيوبركيلوزيس *Mycobacterium tuberculosis* ، كوكسيللا بيرنيتي *Coxiella burnetii* ، ستافيلوكوككس ايريس *Staphylococcus aureus* ، سالمونيللا *Salmonella* species ، ليستيريا مونوسيتوجينيز *Listeria monocytogenes* ، كامبيلوباكتر جيجيني *Campylobacter jejuni* . وهي تخص أيضاً البكتيريا الممرضة التي يمكن أن تدخل اللبن بالصدفة . درجة الحرارة المعتدلة تقتل جميع هذه الكائنات ، مسببات الأمراض المقاومة للحرارة العالية إما غير موجودة في اللبن مثل باسيلس *Bacillus anthracis* أو يصبح نموها عالياً مع البكتيريا الأخرى مثل كلوستريديم انثراسيس يرفرينجينز *Clostridium perfringens* أو لا تستطيع النمو نهائياً في اللبن مثل كلوستريديم بوتيلينيم *Closridium botulinum* أو تكون ممرضة فقط عندما تكون أعدادها كبيرة مثل باسيلس سيريس *Bacillus cereus* التي تسبب فساد اللبن ، يتم التعرف عليها قبل أن تبلغ عددها المرتفع وبالتأكيد فإن بعض السموم خاصة بكتيريا ستافيلوكوككي *Staphylococci* يمكن أن تقاوم المعاملة الحرارية المعتدلة .
2. زيادة القابلية للحفظ Increasing the keeping quality ، وهي تختص أولاً بقتل الكائنات المسببة للفساد وجراثيمها إن وجدت ، تثبيط الإنزيمات الموجودة في اللبن طبيعياً أو التي أفرزتها الكائنات الدقيقة ، تكون أيضاً أساسية . للحد من التدهور الكيميائي بواسطة الأكسدة الذاتية للدهن (تحت فصل 4.3.2) وذلك بواسطة المعاملة الحرارية الشديدة ، التقشيد السريع يمكن أن نمنع حدوثه بواسطة تثبيط الأجلوتينين (تحت فصل 4.2.3) .
3. تأسيس خواص معينة للمنتج Establishing specific product properties الأمثلة هي (1) تسخين اللبن قبل التبخير لكي تزيد ثباتية تجمع اللبن المبخر أثناء تعقيمه (تحت فصل 4.1.19) ، (2) وقف نشاط مثبطات البكتيريا مثل الجلوبيلينات المناعية وجهاز

اللاكتوبيروكسيديز–CNS – H_2o_2 (انظر أيضاً تحت فصل 4.3.7) لكي نسرع نمو بكتيريا البادئ . (3) الحصول على قوام جيد للزبادي (فصل 3.22) و (4) تجبن مصل البروتين مع الكازين أثناء تحميض اللبن (فصل 21) .

2.7 التغيرات التي يسببها التسخين *Changes Caused by Heating*

1.2.7 رؤية شاملة للتغيرات *Over view of changes*

التغيرات في مكونات اللبن التي تحدثها زيادة درجة الحرارة يمكن أن تكون عكسية أو غير عكسية ، وهنا نحن مهتمون أساساً بالتفاعلات غير العكسية أو العكسية البطيئة ، إن مثل هذه التغيرات قليلاً ما تحدث عند معاملات حرارية ذات شدة منخفضة عن البسترة المنخفضة . وبالمثل فإن التفاعلات العكسية يجب أن تؤخذ في الاعتبار لأنها تحدد حالة اللبن عند زيادة درجة الحرارة . أي الحالات في اللبن التي عندها تحدث تغيرات غير عكسية . تغيرات عكسية تشمل التعادل النضحي للاكتوز (تحت فصل 1.3.1.2) والتغيرات في التعادل الأيوني ، شاملاً الأس الهيدروجيني (انظر تحت فصل 5.2.2 وفصل 2.4) .

تحدث تغيرات هائلة عند التسخين تم مناقشتها في هذا الكتاب . وهذا يعطي نبذة مختصرة عن التغيرات الأساسية القائمة بكل الوسائل تكون كاملة . وبالإضافة على ذلك تغيرات عديدة تكون معتمدة على بعضها البعض ، كما يمكن أن تحدث التغيرات المختلفة عند التسخين بدرجات شدة مختلفة .

1.1.2.7 تغيرات كيميائية وفيزيائية *Chemical and Physical Changes*

تغيرات كيميائية وفيزيائية محتملة تسببهما المعاملة الحرارية تشمل :

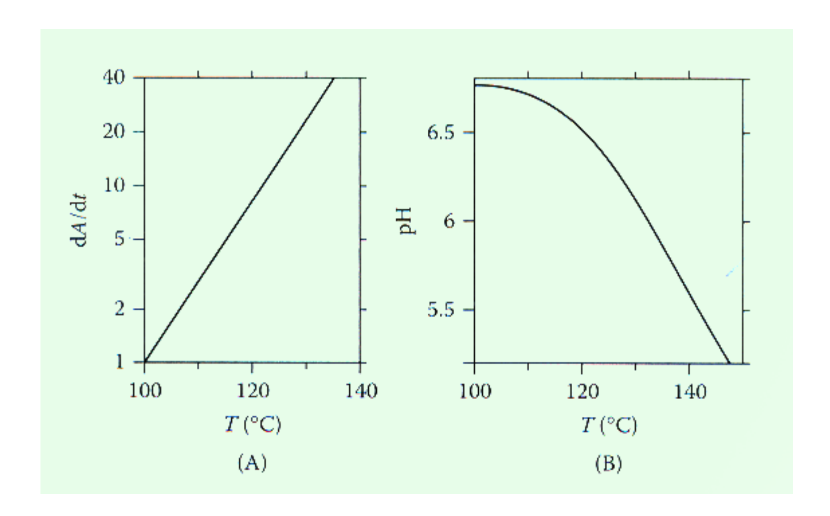
1. غازات ومنها ثاني أكسيد الكربون تزال جزئياً (إذا سمح لها بالخروج من أوعية التسخين) . يكون فقد الأكسجين هاماً لمعدل تفاعلات الأكسدة أثناء التسخين ولمعدل نمو بعض البكتيريا ، يكون فقد الغازات عكسياً ، ولكن اكتسابه من الهواء يمكن أن يأخذ وقتاً طويلاً .

2. تزداد كمية الفوسفات شبه القلوية وتقل أيونات الكالسيوم (شكل 8.2) . تكون التغيرات عكسية ولكن ببطء (حوالي 24 ساعة) .
3. تتحلل جزئياً مشابهات اللاكتوز لكي تعطي مثلاً لاكتيلوز وأحماض عضوية (انظر تحت فصل 3.2.7) .
4. يتم تحلل إسترات الفوسفوريك Phosphoric esters وخاصة في الكازين (تحت فصل 3.2.2.7) . تنفصل الليبيدات الفسفورية أيضاً بالحرارة . وبالتالي تزداد كمية الفوسفات غير العضوية .
5. يقل الأس الهيدروجيني للبن ، وتزداد الحموضة المعايرة نتيجة للتغيرات 2, 3, 4 (انظر شكل 1.7) . تعتمد كل هذه التغيرات على الظروف السائدة انظر أيضاً تحت فصل 1.5.2.2 .
6. يحدث لمعظم بروتينات المصل دنترة وتصبح بذلك غير ذائبة (انظر تحت فصل 2.2.2.7) .
7. يصبح جزء من مصل البروتين (خاصة بيتا لاكتوجلوبيلين) مرتبطاً تساهمياً مع كابا كازين ومع بعض بروتينات غشاء كريات الدهن .
8. تثبط الإنزيمات (فصل 5.2) انظر شكل 31.2 وشكل 9.7 وتحت فصل 3.3.7 .
9. تحدث التفاعلات بين البروتين واللاكتوز خاصة تفاعلات ميلارد (تحت فصل 3.2.7) وهذا يتبعه فقد للأيسين المتوفر .
10. تتكون مجموعات الكبريت المهدرج (مجموعة السلفوهيدريل) *SH*– الحرة ، ويسبب هذا مثلاً انخفاض جهد الأكسدة – الاختزال Redox potential (فصل 3.4) .
11. تحدث تفاعلات أخرى شاملة البروتين (انظر تحت فصل 2.2.7) .
12. تصبح جسيمات الكازين متجمعة ، ويمكن أن يؤدي التجمع حتماً إلى تجبن .
13. تحدث تغيرات عديدة في غشاء كريات الدهن خاصة في محتواه من النحاس .

14. تتحلل جلسريدات الأسيل Acylglycerols مائياً وتحدث لها عملية أسترة معاً (تحت فصل 1.3.2) .

15. تتكون اللكتونات وميثيل لاكتونات من الدهن (تحت فصل 1.3.2) .

16. تتحلل بعض الفيتامينات .



شكل 1.7 إنتاج الحامض في اللبن أثناء المعاملة الحرارية كدالة لدرجات الحرارة T . نتائج تقريبية (A) معايرة الحموضة الناتجة بالميلليتر$^{-1}$ ساعة$^{-1}$ mEq.1h^{-1} (B) الأس الهيدروجيني عند درجة حرارة الغرفة بعد 30 دقيقة من التسخين

Figure 7.1 Acid production in milk during heat treatment as a function of the temperature *T*. Approximate results. (A) Titratable acidity produced, in mEq.1^{-1}.h^{-1}; (B) pH at room temperature after 30 min of heating. (Adapted from P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984)

2.1.2.7 العواقب *Consequences*

عادة ، التأثير الرئيسي للمعاملة الحرارية هو معدل منخفض للتدهور نتيجة للفعل الميكروبي أو للفعل الإنزيمي ، التأثيرات الأخرى الهامة هي :

أ- يمكن أن يتأثر كثيراً معدل النمو البكتيري الموجود أو المضاف بعد المعاملة الحرارية ، وعامة يزداد لأن مثبطات البكتيريا يحدث لها عدم نشاط . يحدث للجلوبيولينات المناعية دنترة عند شدة حرارة منخفضة نسبياً . انظر منحنى التخثر على البارد في شكل D 9.7 . البكتيريا باسيلس سيريس *Bacillus cerus* يكون حساساً خاصة للأجلوتينين IgM . يؤثر جهاز اللكتوبيروكسيديز على بكتيريا حامض اللاكتيك . حيث يثبط نتيجة دنترة يؤثر اللاكتوبيروكسيديز (انظر شكل A 9.7) . اللاكتوفيرين Lactoferrin عادة على باسيلي ستيروثيرموفيليس *Bacillus stearothermophilus* التي تحتاج إلى حرارة تعقيم لكي تثبط . يمكن أن تثبط لاقمات البكتيريا Bacteriophages حسب شدة التسخين (انظر تحت فصل 4.3.13) ، وهذا يكون هاماً خاصة لتخمر حامض اللاكتيك . يمكن كذلك لبعض المحفزات أن تتكون مثل حامض الفورميك ، والذي يسرع نمو بكتيريا حامض اللاكتيك خاصة المحبة للحرارة منها . ولكونها تحتاج معاملة حرارية شديدة (انظر تحت فصل 3.2.7) .

ب- تنخفض القيمة الغذائية على الأقل لبعض المواد المغذية نتيجة للتغيرات . بنود 16 ,9 ويمكن أن تكون 11 في القائمة المذكورة سابقاً . والأمثلة تم ذكرها في جدول 3.16 .

ج- تتغير النكهة (فصل 4.4) بصورة مقبولة نتيجة للبنود 9 ,10 ,11 ,15 .

د- اللون يمكن أن يتغير ، تسخين اللبن في البداية يجعله أولاً أكثر بياضاً ويمكن أن يرجع ذلك إلى التغير بند 2 . بزيادة شدة التسخين يصبح اللون رمادياً نتيجة للبند 9 . انظر فصل 6.4 شكل 4.4 .

هـ- يمكن أن تزداد اللزوجة بعض الشيء نتيجة للبند 6 وأكثر نتيجة للبند 12 وإذا حدث ذلك فإن التغيير الأخير يحدث عندما يعقم اللبن المركز .

و- تنخفض حرارة تجبن اللبن المبخر (تحت فصل 5.1.19) بصورة ملحوظة عندما يسخن اللبن لدرجة أن أغلب بروتينات المصل يحدث لها دنترة قبل التركيز .

ز- الجيلاتين القديم age gelation في اللبن المركز المحلى (تحت فصـــل 2.2.19) يقل أيضـــاً عندما يسخن اللبن بشدة قبل التركيز .

ح- يقل تنفيح اللبن ومعدل تدميع syneresis هلام المنفحة (تحت فصـــل 6.3.24) لأغلب الأجزاء نتيجة للبند 7 .

ط- تقل القابلية للتقشـيد في اللبن (تحت فصـل 4.1.3) وعادة ما تحدث نتيجة للبند 6 (دنترة البروتينات المناعية IgM) .

ي- يتأثر الميل للأكسدة الذاتية بعدة طرق (فصل 4.2) وخاصة نتيجة للبند 8, 10, 13 .

ك- تتأثر مكونات الطبقات الســطحية لكريات الدهن المتكونة أثناء التجنيس أو إعادة الخلط بشـــدة التســـخين قبل عملية التجنيس ، نتيجة للتغير في البند 6 . وهذا يؤثر على بعض خواص المنتجـات اللبنيـة ، فمثلاً القـابليـة لتكوين عنـاقيـد التجنيس Homogenization clusters (فصل 7.9) تزداد .

2.2.7 تفاعلات البروتينات *Reactions of Proteins*

يمكن أن تحدث تفاعلات عديدة لمجموعات الســلســلة الجانبية (ومن الممكن أن تحدث للمجموعات النهائية) للبروتينات عند درجات حرارة عالية . يعطي جدول 1.7 الأمثلة . يمكن أن تكون كثير من هذه التفاعلات مثل 5 , 6 , 9 , 10 , 11 وخاصـة 12 روابط عرضية داخل أو بين السـلاسـل الببتيدية . يمكن أن تقلل تفاعلات الروابط العرضية ذوبان البروتين . لم يعرف بالضبط معدل أغلب التفاعلات وحالة تعادلها ، بجانب التفاعلات من 4 إلى 6 والتي يمكن أن تحدث عند دنترة البروتين ، فإن أغلب التفاعلات المشـتركة تحتاج درجات حرارة عالية (تعقيم) . ولأن الكازين يحتوي على فوسـفوسـيرين ، يمكن أن يتكون ديهيدروالانين (التفاعل 8) وينتج أيضـاً من التفاعل 7 تحدث إزالة الفســفرة بواســطة التحليل المائي (التفاعل 3) أســرع من الناتجة عن الإزالة -B (التفاعل 8) . والخلاصة ، في اللبن يمكن أن تحدث أغلب التفاعلات التي تم جمعها في جدول 1.7 ، وعلى ذلك قد تتكون كميات صغيرة جداً من ليسينو الانين lysino-alanine (التفاعل 10) ،

إلا إذا كان الأس الهيدروجيني مرتفعاً جداً ، يمكن أن يكون ليسينو الانين ساماً لأن هضمه يمكن أن يسبب تغيرات في كلية الفار (بالرغم من عدم مشاهدتها في الإنسان) . يكون إزالة الأمين Deamidation من الجلوتامين (تفاعل 2) أقل سرعة من الأسباراجين (تفاعل 1) . وكما ذكر سابقاً ، تحتاج أغلب التفاعلات درجة حرارة عالية لكي تحدث . وليس من المهم للتفاعل نفسه ولكن نحتاج هذه الحرارة العالية لعدم ثني السلسلة الببتيدية (دنترة) والتي تصبح بواسطته المجموعات المشتركة معرضة ومستعدة للتفاعل ، تتم أغلب التفاعلات أسرع عند أس هيدروجيني أعلى ماعدا التفاعلين 3 , 11 .

1.2.2.7 تفاعلات مجاميع الثيول *Thiol* (مجموعة الكبريت المهدرجة (السلفوهيدريل –SH)

تكون مجموعة –SH للسيستين Cysteine متفاعلة جداً في الصورة المتأينة (تفاعل 4) . في السلسلة الببتيدية pk لها تساوي 9.5 عند درجة 25 درجة مئوية ، ويعني هذا أن عند الأس الهيدروجيني 6.1 , 6.4 , 6.7 بمتوسط 0.04% , 0.08% و 0.16% من المجموعة على الترتيب ، فإنها تتفكك . وبالتالي فسوف يعتمد معدل التفاعل 4 بالقوة على الأس الهيدروجيني . وبالطبع قبل حدوث هذا التفاعل ويجب أن تكون السلسلة الببتيدية غير منثنية ، إلا إذا كانت مجموعة الثيول في خارج الجزيء الطبيعي والتي هي استثنائية . المعاملة الحرارية للبن مثل حدوث دنترة بروتينات المصل وعلى ذلك فالنتائج توضح أن عدد مجموعات الثيول المتفاعلة في ازدياد بعد هذه المعاملة الحرارية . بالتسخين ، التفاعل 5 هو التفاعل السائد حتى لو كان الأس الهيدروجيني منخفضاً (pH 4.5) ودرجة الحرارة منخفضة (20 درجة مئوية) بالرغم من أن التفاعل يكون بطيئاً (لمدة أيام قلائل) . يمكن أن تؤثر التغيرات بين داي سلفيد على بنية البروتين ، يعتمد التفاعل 6 على جهد الأكسدة – الاختزال Redox potential لأن تفاعل الروابط العرضية تحدث بالأكسدة .

جدول 1.7 التفاعلات المحتملة لمجموعات السلسلة الجانبية لبقايا الأحماض الأمينية المرتبطة في السلسلة الببتيدية (|) للبروتينات عند درجة حرارة عالية

Table 7.1 Possible Reactions of Side Chain Groups of Amino Acid Residues Linked in the Peptide Chain (|) of Proteins at High Temperature

No.	Reactants		Products
1.	$\vdash CH_2{-}CONH_2 + H_2O$ Asparagine	$\rightarrow$	$\vdash CH_2{-}COO^- + NH_4^+$ Aspartic acid
2.	$\vdash (CH_2)_2{-}CONH_2 + H_2O$ Glutamine	$\rightarrow$	$\vdash (CH_2)_2{-}COO^- + NH_4^+$ Glutamic acid
3.	$\vdash CH_2{-}O{-}PO_3^{2-} + H_2O$ Phosphoserine	$\rightarrow$	$\vdash CH_2{-}OH + HPO_4^{2-}$ Serine
4.	$\vdash CH_2{-}SH + OH^-$ Cysteine	$\rightleftharpoons$	$\vdash CH_2{-}S^- + H_2O$
5.	$\vdash CH_2{-}S{-}S{-}CH_2{-}\dashv$ + $\vdash CH_2{-}S^-$	$\rightleftharpoons$	$\vdash CH_2{-}S^-$ + $\vdash CH_2{-}S{-}S{-}CH_2{-}\dashv$
6.	$\vdash CH_2{-}S^- + {}^-S{-}CH_2{-}\dashv$ Cysteine	$\rightarrow$	$\vdash CH_2{-}S{-}S{-}CH_2{-}\dashv + 2\ominus$ Cystine
7.	$\vdash CH_2{-}S^-$ Cysteine	$\rightarrow$	$\vDash CH_2 + HS^-$ Dehydroalanine
8.	$\vdash CH_2{-}O{-}PO_3^{2-}$ Phosphoserine	$\rightarrow$	$\vDash CH_2 + HPO_4^{2-}$ Dehydroalanine
9.	$\vDash CH_2 + HS{-}CH_2{-}\dashv$ Dehydroalanine Cysteine	$\rightarrow$	$\vdash CH_2{-}S{-}CH_2{-}\dashv$ Lanthionine
10.	$\vdash (CH_2)_4{-}NH_3^+ + H_2C{=\!\!\dashv} + OH^-$ Lysine Dehydroalanine	$\rightarrow$	$\vdash (CH_2)_4{-}NH{-}CH_2{-}\dashv + H_2O$ Lysinoalanine
11.	$\vdash CH_2{-}(C_3H_3N){-}NH^+ + H_2C{=\!\!\dashv} + OH^-$ Histidine Dehydroalanine	$\rightarrow$	$\vdash CH_2{-}(C_3H_3N){-}N{-}CH_2{-}\dashv + H_2O$ Histidinoalanine
12.[a]	$\vdash CH_2{-}COOH + H_2N{-}(CH_2)_4{-}\dashv$ Aspartic acid Lysine	$\rightarrow$	$\vdash CH_2{-}CO{-}NH{-}(CH_2)_4{-}\dashv + H_2O$ Isopeptide
13.[b]	$\vdash (CH_2)_4{-}NH_2 + C_6H_{12}O_6$ Lysine Glucose	$\rightarrow$	$\vdash (CH_2)_4{-}NH{-}C_6H_{11}O_5 + H_2O$ Amadori product

a. تفاعل يحدث أيضاً مع بقايا حامض الجلوتامينيك .

b. الخطوة الأولى في تفاعل ميلارد مع الجلوكوز أو أي سكر مختزل . انظر شكل 4.7 .

a Reaction also occurs with glutaminic acid residues.

b First step in the Maillard reaction with glucose or another reducing sugar. See Figure 7.4.

تكون كبريتيد الهيدروجين H_2S (تفاعل 7 ولكن من المحتمل أن تشترك تفاعلات أخرى) تسبب نكهة مطبوخة أو حتى نكهة غازية "Gassy" تتكون في اللبن . كقاعدة ليس أكثر من 1% من مجموعات الثيول تتفاعل ، بقايا ثنائي هيدروالانين dehydroalanine تتفاعل طبقاً للتفاعل 9 ، 10 و 11 .

يوضح جدول 15.2 في أي بروتين من بروتينات اللبن توجد المجموعات $-S-S-$ و $-SH$ الجلوبينات المناعية أيضاً تحتوي على سيستين كثير ، من المحتمل أن يكون المتبرع الرئيسي لمجموعات $-S-S-$ و $-SH$ البيتالاكتوجلوبيلين ، ونتيجة لتركيزه العالي في اللبن واحتوائه على مجموعة ثيول حرة . عند التسخين تصبح مجموعة الثيول متفاعلة جداً وبسبب ذلك تحدث تغيرات غير عكسية في الجزيئات . بالنسبة لتكون كبريتيد الهيدروجين ، يكون جزء من بروتين غشاء كريات الدهن العامل الأكثر نشاطاً ، على الأقل 10 مرات أكثر نشاطاً من البيتاجلوبيلين، تسخين اللبن منزوع القشدة قليلاً ما ينتج كبريتيد الهيدروجين ، بينما ينتج تسخين القشدة كثيراً منه .

2.2.27 دنترة أو مسخ مصل بروتينات اللبن ***Denaturation of serum proteins***

يمكن أن تتعرض البروتينات الكروية للدنترة denturation كما ذكرنا في تحت فصل 3.1.4.2 فهي تبدي عدم ثني سلاسلها الببتيدة عند درجات حرارة عالية ، فوق 70 درجة مئوية بالرغم من التغير الواضح في درجة الحرارة اللازمة التي تلاحظ بين البروتينات . وكما ذكر سابقاً التفاعلات الحادثة في أو بين المجموعات الجانبية في السلسلة الببتيدية عند درجة الحرارة السائدة ، يمكن أن تمنع عدم انثناء سلسلة الببتيد إلى وضعها الأصلي أي الطبيعي ، وبمعنى آخر ، يبقى البروتين مدنترا . ونتيجة لذلك تفقد أغلب البروتينات نشاطها البيولوجي أي كإنزيمات أو كمضادات حيوية عادة ، فإنها تصبح أقل ذوباناً ، وإلا فإن التغيرات يمكن أن تكون طفيفة والقيمة الغذائية نادراً ما تكون تالفة .

تحدث هذه التغيرات في بروتينات مصـــل اللبن الكروية ، خاصـــة بيتا لاكتوجلوبيلين B-lactoglobuilin ، ألفالاكتوالبيومين α-lactalbumin ، ســـيرم البيومين Serum albumin والجلوبيلينـات المنـاعيـة . يشـــبـه البروتيوز – بيبتونز The proteose-peptones الكـازينـات لا يكون ممسوخاً ، وتمت دراسة حرارة مسخ البيتالاكتوجلوبيلين ببعض التفصيل . عند درجة حرارة عالية ، تصبح مجموعة الثيول الحرة معرضة وتتفاعل مع واحدة من المجموعات -S-S– (جدول 1.7 تفاعل 5) ، عادة لجزيء آخر ، وعند ذلك يصـبح كلا الجزيئين مربوطين مكونين دايمر Dimer ، وبنفس الطريقة يتكون أيضـــاً الترايمر Trimers والتترامر Tetramers ... الخ . ولكن الجزيئات المتجمعة يمكن أن تظل صـغيرة وذائبة . اعتماداً على الظروف السـائدة خاصـة الأس الهيدروجيني والتركيب الأيوني ودرجة الحرارة . تجمع أكثر يمكن أن يحدث الآن مؤدياً إلى تكون جزيئات كبيرة غير ذائبة ؛ يمكن أن يتكون الهلام عند تركيزات عالية . ويحدث نفس الشيء مع البروتينات الأخرى ، بالرغم من أن بعضـــاً منها لا يحتوي على مجاميع ثيول حرة ، ويتضـــمن هذا أن أياً من شـــكل التفاعل يكون مختلفاً أو أن مجموعة ثيول حرة لبروتين آخر (بيتالاكتوجلوبيلين ، البومين مصل بقري ، أو بعض الجلوبيلينات المناعية) قد تستخدم عندما نسخن محلولاً من بروتينات المصل مثل الشرش عند أس هيدروجيني مختلف ، يلاحظ أنها تصـــبح غير ذائبة فقط عند أس هيدروجيني منخفض (شكل A2.7) .

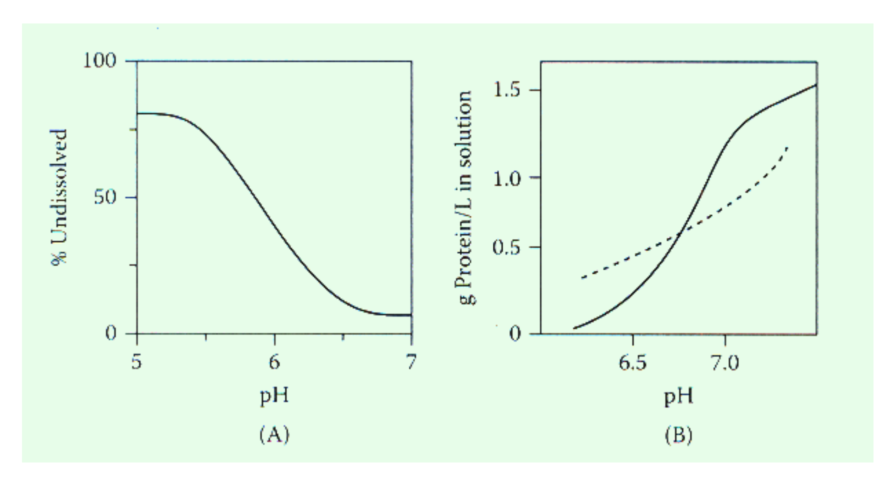
إن التســـخين عند أس هيدروجيني متعادل وكذلك التحميض بعد التبريد إلى عدم الذوبان ، والذي يسرع عند وجود نشاط أيون كالسيوم عالٍ . إذا سخن اللبن ، فإن روابط عرضية يمكن حدوثها مع بروتينات أخرى عن طريق روابط – S – S – اعتماداً على الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة أثناء المعاملة الحرارية . وهذا يســـتخدم طبعاً . روابط بين بروتينات مصـــل مختلفة ، ولكن أيضـاً روابط مع بروتينات غشـاء كريات الدهن ومع الكاباكازين والألفاكازين ، تكون بعض بروتينات المصل مرتبطة مع كريات الدهن .

يكون التداخل مع جسيمات الكازين أكثر تعقيداً . حرارة الدنترة عند أس هيدروجيني قدره 6.9 وعند درجة حرارة الغرفة كما في لبن الشرش تتكون تجمعات صغيرة لبروتينات المصل ذات حجم 60 نانومتر . تظل هذه التجمعات ذائبة ويمكن أن تحتوي أولاً على بعض الكاباكازين . عند أس هيدروجيني قدره 6.5 أو أقل فإن جميع البروتين المصل المدنتر ترتبط مع جسيمات الكازين . عند أس هيدروجيني قدره 6.7 فإن حوالي 30% تكون تجمعات ذائبة . تكون الباقي مرتبطة مع الجسيمات ، يشمل الارتباط روابط ثنائية الكبريت $-S-S-$.

لا تكون جسيمات الكازين مغطاة بواسطة بروتينات المصل لأنها لا تكون كافية لتغطيتها بالكامل ، وبالإضافة إلى ذلك الارتباط يكون للجزء الجوهري في شكل تجمعات بروتين المصل . تحصل الجسيمات على سطح وعر غير مستوي Bumby ويزداد حجم البروتين الكلي للبن . مؤدياً إلى زيادة اللزوجة ، عندما يسخن اللبن عند الأس الهيدروجيني الفسيولوجي أو أعلى ثم يحمض إلى أن يصل لأس هيدروجيني قدره 6.5 أو أقل بعد التبريد ، فإن جميع بروتينات المصل الممسوخة (المدنترة) تصبح مرتبطة مع الجسيمات .

تحدث التغيرات المذكورة عند درجة حرارة تتراوح بين 70 إلى 90 درجة مئوية . فوق 120 درجة مئوية كمية كبيرة من الكازين ، أغلبها كاباكازين تترك الجسيمات عند أس هيدروجيني عالٍ (انظر شكل B2.7) . الكاباكازين في المحلول أو في شكل جسيمات تتفاعل مع بروتين المصل المدنتر والتي تحور الأس الهيدروجيني لتحلل الكاباكازين كما هو موضح في الشكل . وهذه لها أهمية معتبرة لثباتية اللبن المركز للحرارة (تحت فصل 4.2.7) .

سرعة التفاعل المسبب للدنترة موضح في شكل 3.7 ، ويمكن أن يظهر أن بروتينات المصل المختلفة تختلف في حساسيتها للحرارة (انظر أيضاً شكل E 9.7 وتحت فصل 2.3.7) .



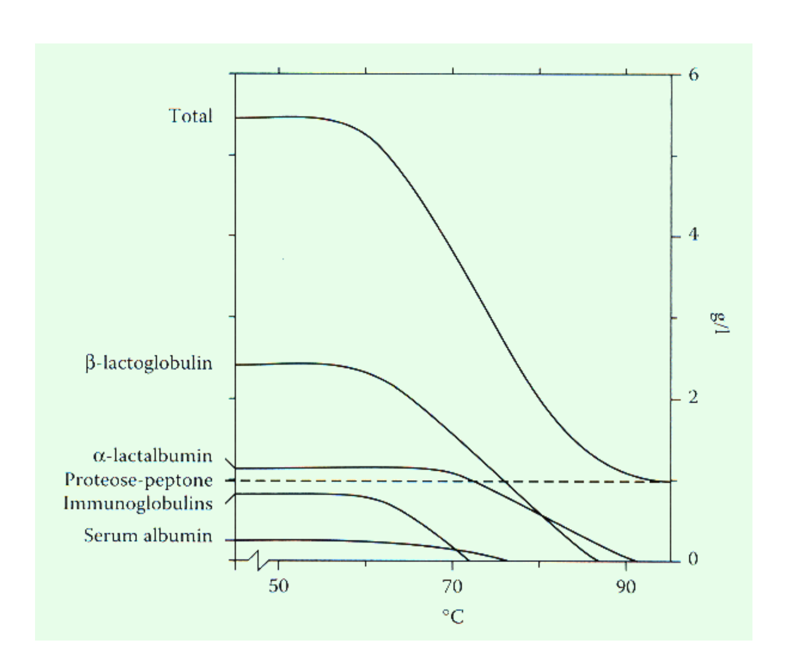
شكل 2.7 تأثير الأس الهيدروجيني على تأثيرات الحرارة على البروتينات (A) نسبة البروتينات التي تترسب بعد تسخين شرش اللبن لمدة 10 دقائق عند 80 درجة مئوية . (B) كمية البروتين التي تبقى في المحلول أي غير المرتبطة مع جسيمات الكازين بعد تسخين اللبن (-) أو اللبن الخالي من بروتينات المصل (...) عند درجة 140 درجة مئوية

Figure 7.2 Influence of pH on the effects of heating on proteins. (A) Percentage of the proteins that become precipitated after heating whey for 10 min at 80°C. (B) Amount of protein that remains in solution, i.e., not associated with the casein micelles, after heating milk (–) or seum protein free milk (---) at 140°C

3.2.2.7 انحلال *Degradation*

عند التسخين على درجة حرارة عالية ، تحدث شروخ للأجزاء المختلفة للجزيء ، مثل هذه التشققات تم توضيحها في الكازين . ومثال ذلك هو إزالة فسفرة الكازينات ، بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تحدث معاملات حرارية شديدة تفلجات للسلاسل الببتيدية لتنتج ببتيدات ذائبة ، N اسيتيل حامض النيورامينك وبعض الكربوهيدرات يمكن أن تنفصل عن الكازين أيضاً ، فمثلاً في دراسة عن تسخين محاليل الكازينات ، معاملة لمدة 20 دقيقة عند 120 درجة مئوية ، تسبب في إنتاج 2.7% و 0.9% و 1.1% نيتروجين و 9.5% ، 7.5% و 14.4 من الفوسفور العضوي للألفا والبيتا والكاباكازين على التوالي والتي قد أصبحت "ذائبة" (أي لم تترسب مع الكازين عند

أس هيدروجيني 4.6) . بعد المعاملة بالحرارة لدرجة 135 درجة مئوية لمدة ساعة ، جميع الفسفور العضوي و15% من النيتروجين تصبح ذائبة .



شكل 3.7 تأثير تسخين اللبن لمدة 30 دقيقة عند درجات حرارة مختلفة على كمية بروتينات المصل التي تبقى ذائبة بعد التبريد والتحميض لأس هيدروجيني قدره 4.6

Figure 7.3 Effect of heating milk for 30 min at various temperatures on quantity of serum proteins that remain dissolved after cooling and acidification to pH 4.6. (Mainly adapted from B.L. Larson and G.D. Rolleri, *J. Dairy Sci*., 38, 351, 1955)

3.2.7 تفاعلات اللاكتوز *Reactions of Lactose*

يقوم اللاكتوز أثناء تسخين اللبن ، بتفاعلات يكون لها عواقب هامة للبن . حيث تنتج تغيرات في النكهة واللون والقيمة الغذائية والأس الهيدروجيني . وكما تم مناقشته في تحت فصل 1.1.2 ، فاللاكتوز هو سكر مختزل يتفاعل من مجموعات الأمين (في اللبن يمد عامة بواسطة بقايا

الليســـين) في تفاعل ميلارد Maillard reaction بجانب ذلك فإن اللاكتوز يمكن أن يحدث له ترتيب متشابه متجازئ (أيسومري) Isomeric إلى سكريات أخرى . ويمكن أيضاً أن ينحل إلى جالكتوز ومتجات انحلالية للجلوكوز ، شاملة أحماضاً عضوية مختلفة . يوضح شكل 4.7 التفاعلات الرئيسية ، صيغ لعديد من منتجات التفاعل هي :

Acetol	$CH_3-CO-CH_2OH$	أسيتول
Methylglyoxal	$CH_3-CO-CHO$	ميثيل جليوكسال
Formaldehyde	$HCOH$	حامض الفورميك
Formic acid	$HCOOH$	حامض الفورميك
Acetic acid	CH_3-COOH	حامض الخليك
Pyruvic acid	$CH_3-CO-COOH$	حامض البيروفيك
Hydroxymethyl furfural	(furan ring, O; H_2COH ... COH)	هيدروكسي ميثيل فورفورال

تفاعلات الأيسومرة Isomerization والانحلال المباشر التي تتم في غياب مجموعات الأمين ، بالرغم من أنها تحفز تفاعلات الأيسومرة . اللاكتيلوز (سكر ثنائي من الجالاكتوز والفراكتوز انظر شكل 1.2) يتكون بكميات كبيرة من 0.3 جرام لتر$^{-1}$ (3mM) ، في اللبن المعقم الإيبيلاكتوز Epilactose (شكل ثنائي من الجالاكتوز والمانوز) يتكون بكميات نادرة . في الأساس كل تفاعلات الأيسومرة تكون عكسية . بالإضافة إلى ذلك يمكن أن ينفصل جزء الفركتوز من اللاكتيلوز إلى حامض فورميك ومركب خماسي الكربون C_5 أو يتغير إلى مركب سداسي الكربون C_6 بينما يترك جزء الجالاكتوز بدون تغيير . يمكن أن ينحل الأخير أيضاً إما مباشرة أو بعد عملية أيسومرة إلى سكر كيتوزي تاجاتوز Tagatose . من بين مركبات خماسية الكربون التي تم التعرف عليها مركبات غير ثابتة . تكون المركبات سداسية الكربون تشمل كميات ضئيلة من هيدروكسي ميثيل فيرفيرال (HMF) بالإضافة إلى مركبات أخرى غير معرفة ، تكون هذه التفاعلات غير عكسية ، يكون حامض الفورميك المتكون مسئولاً عن زيادة الحموضة في اللبن المسخن (انظر شكل 1.7) .

ISOMERIZATION AND SUGAR DEGRADATION REACTIONS

Epilactose
⇅
Lactose → Galactose + C_6
⇅
Lactulose → Galactose + C_6
↘ Galactose + C_5 + Formic acid

Galactose → Tagatose → C_5 + Formic acid
↘ C_5 + Formic acid

MAILLARD REACTIONS

Initial

Lactose + lysine–R → Lactulosyl-lysine–R

Galactose + lysine–R → Tagatosyl-lysine–R

Intermediate

Lactulosyl-lysine–R → Lysine–R + Galactose + C_6
↘ Lysine–R + Galactose + C_5 + Formic acid

Tagatosyl-lysine–R → Lysine–R + C_n (n = 1–6)

Advanced

C_n + Lysine–R → Melanoidins

C_n + Arginine–R → Melanoidins

شكل 4.7 شكل مبسط للتفاعلات الحادثة مع اللاكتوز أثناء تسخين اللبن عند درجة التعقيم . R تشير إلى سلسلة ببتيدية لمركب عضوي يحتوي على ذرات كربون

Figure 7.4 Simplified scheme of reactions occurring with lactose during the heating of milk at sterilization temperature. R stands for a peptide chain, C_n for an organic compound containing n carbon atoms

في المرحلـة الأخيرة من تســـخين اللبن والتي يظهر فيهـا تفـاعـل ميلارد مغيراً للنكهـة واللون ، يكون التفـاعـل في المرحلـة الابتـدائيـة بين اللاكتوز ومجموعـة أمينيـة حرة $-NH_2$ عـادة تتبع بقايا الليســين . يتكون خلال عدة خطوات مركب متوســط أقل ثباتاً لاكتولوزيل – ليســين R– يتحول (هـذا المركـب إلى فيروزين Furosine بعد التحليل المـائي في حـامض الهيدروكلوريك

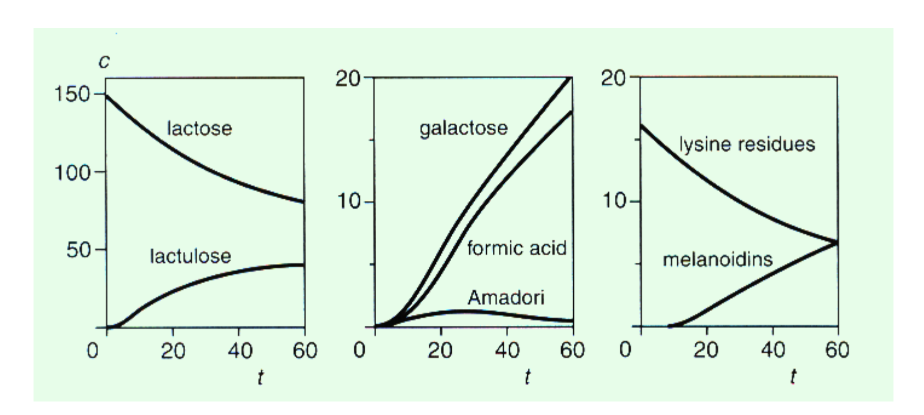
6 مولر ، يمكن أن تقدر الكمية الناتجة من الفيروزين في الحال) . يتكون من جزء الفراكتوز في اللاكتيلوزيل – ليسين مركب وسطي نشط ، يترك الجالاكتوز وبقايا الليسين تحرر ثانية (الليسين يعمل كعامل مساعد) . يشترك الجالكتوز بدوره في تفاعل ميلارد ، كمية الـ HMF الناتجة في حدود عشرات من الميكرومولات لكل لتر$^{-1}$ أي أقل من اللاكتيلوز . أيضاً تتكون تفاعلات كتلة – مولارية منخفضة Low-molar-mass reaction من اللاكتيلوزيل — ليسين المتوسط ، شاملة الأسيتول ، ميثيل جليوكسال ، مالتول وبعض الألدهيدات والكيتونات الأخرى . ولكي تتأكد من ذلك ، يمكن أن تتكون جميع هذه المركبات بكميات صغيرة ، ولكنها هامة في تكوين النكهة (وخاصة المالتول) ويسبب تفاعليتها شكل 5.7 يعطي أمثلة للكميات الداخلة في التفاعل المتكون .

في مراحل متأخرة لتفاعل ميلارد ، تحدث تفاعلات البلمرة لمركبات الأمين مع السكريات المتفاعلة الوسطية . المواد الأخيرة أيضاً تسمى الميلانويدنيات Melanoidins وتكون مربوطة بروابط تساهمية مع البروتينات . وتسبب اللون البني للبن . التركيب الجزيئي الميلانويدنيات هو غاية في التعقيد ولم يوضح بصورة كافية ، تسبب تفاعلات ميلارد متقدمة أيضاً روابط عرضية للبروتينات .

من كل التفاعلات الحادثة تكون تفاعلات ميلارد خاصة معقدة للغاية ، وكثيراً منها مازالت غير واضحة . إلا أن تطور اللون يمكن الآن أن يوضع لها نموذج جيد كدالة للوقت ودرجة الحرارة . الفوسفات تحفز تفاعلات ميلارد . التفاعلات المختلفة التي تحدث تؤثر على بعضها . فمثلاً ، انخفاض الأس الهيدروجيني عامة الذي يسببه إنتاج حامض الفورميك ، تخفض معدل الأيسومرة وتفاعلات ميلارد ، تتم التفاعلات بصورة أسرع عند درجات حرارة عالية (Q_{10} تكون من 2 إلى 3) ولكن اعتماد التفاعلات على درجة الحرارة تكون مختلفة لكل تفاعل منها . حيثما بدأ تفاعل ميلارد . فهي تتقدم بمعدل محسوس عند درجة حرارة منخفضة ، كما يشاهد أثناء تخزين اللبن المبخر . وطبعاً يؤثر تركيب اللبن والمنتجات اللبنية على التفاعلات ،

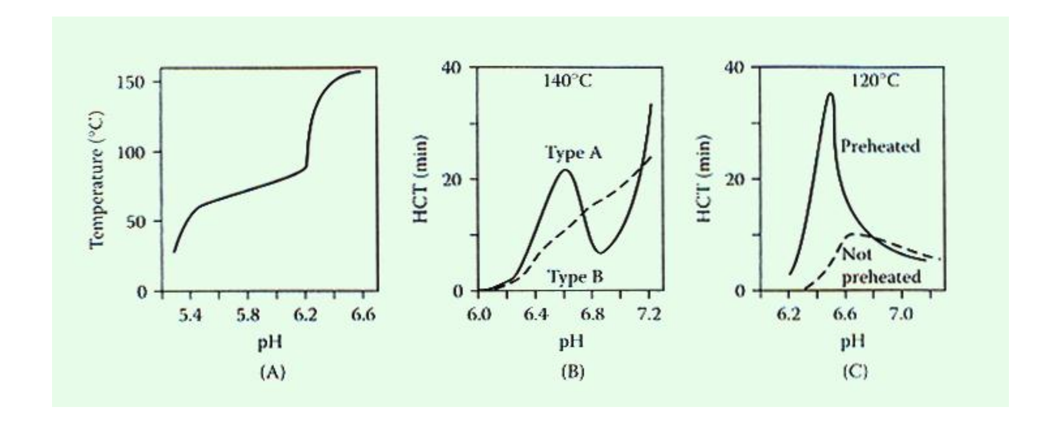
ليس فقط بسبب التغيرات في تركيز المواد المتفاعلة ولكن أيضاً يسبب احتمال وجود مكونات نشطة كمحفزات . وعلى ذلك فمن الصعب أن نتنبأ بالتأثيرات الناتجة عن تغير المكونات في اللبن .

وتلخيص ذلك ، يمكننا القول أنه في اللبن غير المسخن بشدة سوف يتحلل اللاكتوز بواسطة تفاعلات الأيسومرة Isomerization reactions ، بينما سوف يتفكك جزء صغير من خلال تفاعلات ميلارد ، أثناء التسخين الشديد وأيضاً في المراحل النهائية للتفاعلات ، يلعب تفاعل ميلارد دوراً كبيراً . النتيجة النهائية هي تغيرات في النكهة ، تكون اللون البني نتيجة لتكوين الميلانودينات Melanoidins ونقص معين في القيمة الغذائية يسببها الليسين حينما يصبح غير قابل للامتصاص في المعدة .



شكل 5.7 تركيز اللاكتوز (ميليمول لكل لتر-1) ، اللاكتيلوز ، الجالاكتوز ، حامض الفورميك ، منتجات أمادوري ، بقايا ليسين لم تتغير وميلانويدينات كدالة للوقت (t بالدقيقة) لمعاملة حرارية عند درجة 120 مئوية لمحلول من 150 ميليمولر لاكتوز و 3% كازينات صوديوم في 0.1 مولر محلول منظم فوسفاتي له أس هيدروجيني قدره 6.8 نتائج تقريبية

Figure 7.5 Concentration (*c*, mmol.1^{-1}) of lactose, lactulose, galactose, formic acid, Amadori products, unaltered lysine residues, and melanoidins, as a function of time (*t*, min) of heat treatment at 120°C, of a solution of 150 mM lactose and 3% Na-caseinate in a 0.1 M phosphate buffer of pH 6.8. Approximate results. (From a study by C.M.J. Brands and M.A.J.S. van Boekel)



شكل 6.7 تجبن اللبن كدالة للأس الهيدروجيني الابتدائي . (A) درجات الحرارة التي يبدأ فيها التجبن عند تسخين سريع للبن (نتائج تقريبية) (B) وقت التجبن الحراري عند درجة حرارة 140 درجة مئوية لعينتين مختلفتين من اللبن الطازج (C) وقت التجبن الحراري عند 120 درجة مئوية للبن منزوع الدسم المبخر مع أو بدون تسخين مبكر للبن قبل تركيزه

Figure 7.6 Heat coagulation of milk as a function of the initial pH. (A) Temperatures at which coagulation starts at fairly rapid warming of the milk (approximate results). (B) Heat coagulation time at 140°C of two different samples of fresh milk. (C) HCT at 120°C of evaporated skim milk, with or without preheating of the milk before concentration

4.2.7 حرارة التجبن *Heat Coagulation*

الكازين لا تحدث له دنترة بالتســـخين كما تعاني البروتينات الكروية ، إلا أنه عند معاملة حرارية شديدة جداً يمكن أن يتجمع تحت ظروف معينة ، خاصة إذا كان في شكل الجسيمات . (جوانب عامة لثباتية جسيمات الكازين تم مناقشتها في تحت فصل 3.3.3) . تحت ظروف عملية يمكن أن يظهر التفاعل كتجبن أثناء التعقيم . يمكن أن يصبح التجبن مرئياً عندما تظهر التجمعات الكبيرة أو يتكون الهلام ، الوقت الذي يحتاجه هذا لكي يحدث يسمى وقت التجبن الحراري The heat coagulation .

1.4.2.7 اللبن *Milk*

حرارة تجبن اللبن هي ظاهرة معقدة . لأن تداخلات عديدة وظروف تلعب دوراً . إن المتغير الأكثر أهمية هو الأس الهيدروجيني . يؤثر الأس الهيدروجيني الابتدائي على وقت التجبن الحراري أي أنه كلما انخفض الأس الهيدروجيني انخفضـــت درجة الحرارة التي يحدث فيها التجبن (شـــكل 6.7 A) . أي عند درجة حرارة ثابتة معدل التجبن يزداد بانخفاض الأس الهيدروجيني . ولكن عادة أقل وقت تجبن حراري يحدث بالقرب من الأس الهيدروجيني من 6.8 إلى 6.9 (ويسمى ذلك The pessimum pH) . وأعلى وقت تجبن حراري يحدث بالقرب من الأس الهيدروجيني الأمثل 6.6 (يســـمى The Optimum pH) . اللبن الـذي يكون ســـلوكه يشـــابه ذلك ، يشار إليه كلبن من النوع A ، وإذا كان غير ذلك يسمى النوع B . كما يظهر في الشكل 6.7 B ، نوع اللبن A هو الأكثر شيوعاً . هناك تغيرات معتبرة في الثباتية الحرارية بين عينات البن، وسبب ذلك لم يتم فهمه جيداً ، في مناطق كثيرة يوجد تأثير فصلي (انظر شكل 37.2 D) يحدث بواسطة تغيرات في مستوى اليوريا الطبيعي .

بعيداً عن ماذا يحدث بالقرب من أقل وقت تجبن حراري ، الأس الهيدروجيني ينخفض أثناء التسخين (انظر شكل 1.7) إلا أن التجمع عادة ما يكون غير عكسي أي أن التجمعات المتكونة لا تســـتطيع الانتشـــار ثانية بزيادة الأس الهيدروجيني ، ويظهر أن التجمعات ترتبط معاً بواسطة روابط عرضية تساهمة . قوى التجاذبات شبه الغروية تكون ضرورية لأن الجسيمات يجب أن تتقارب معاً بطريقة كافية قبل حدوث الروابط العرضـــية ، العوامل التي تحدد التجاذبات شـــبه الغروية هي كالتالي :

1. الكابا كازين (يقدم تنافراً اليكتروستاتيكياً) .
2. الأس الهيدروجيني (يؤثر على التنافر الإليكتروستاتيكي) .
3. نشاط أيون الكالسيوم (يمكن أن يكون قناطر ملحية تؤثر على التنافر الإليكتروستاتيكي) .

انظر تحت فصل 1.3.3.3 خاصة شكل 22.3 .

يقلل الأس الهيدروجيني ما يحدث أثناء تسـخين اللبن وهو عامل هام أسـاسـي في تجبن اللبن . الخفض الابتدائي في الأس الهيدروجيني نتيجة لترسـيب فوسـفات الكالسـيوم (تحت فصـل 5.2.2) والانخفاض التالي بواسطة إنتاج حامض الفورميك من اللاكتوز (تحت فصـل 3.2.7) يحدد معدل انخفاض الأس الهيدروجيني معدل التجبن . تأثير عدد من العوامل على حرارة التجبن ينعكس بدوره على معدل انخفاض الأس الهيدروجيني . التجبن عامة يحدث بعد أن ينخفض الأس الهيدروجيني إلى قيم أقل من 6.2 ، ولذلك يحتاج أس هيدروجيني عالٍ في البداية إلى وقت طويل ليصـل إلى مسـتوى منخفض كافٍ لكي يحدث حرارة التجبن . وكما ذكرنا سـابقاً حرارة التجبن ليسـت ببسـاطة نفس التجبن بالأحماض . ومن الواضـح أن تفاعلات إضـافية تلعب دوراً هاماً .

يمكن أن يشـرح النموذج التالي أغلب الملاحظات على حرارة التجبن في اللبن ، هناك تفاعلان مختلفان يمكن أن يحدثا تجبناً ، الأول هو تجمع شـبه غروي والذي فيه تلعب أيونات الكالسـيوم دوراً هاماً عن طريق قناطر الكالسـيوم . يمكن أن تذوب الكتل المتجبنة بإضـافة عوامل مخلبية للكالسـيوم (إلا إذا كان وقت تسـخين طويل مطلوباً لإحداث التجبن) . إن معدل التفاعل من الدرجة الثانية ليس معتمداً بقوة على درجة الحرارة . وهو يعتمد كثيراً على نشـاط أيون الكالسيوم . يكون الأس الهيدروجيني المنخفض $a_{ca^{2+}}$ للبن أعلى . يسبب التسخين نفسه تأثيرين هما : أس هيدروجيني منخفض و $a_{ca^{2+}}$ منخفض عند نفس الأس الهيدروجيني (شـكل 9.2) . وهذا يعني أنه أثناء تسخين اللبن $a_{ca^{2+}}$ لا يتغير لأن كلا التأثيرين تقوض كل منها .

التفاعل الثاني هو روابط عرضـية كيميائية ، بالرغم من أن هذه الروابط العرضـية المشـتركة لم يتم تعريفها بعد (المشـكلة هي عند درجات حرارة عالية ، فإن أنواعاً عديدة من الروابط العرضـية قد تكونت داخل جسـيمات الكازين وكذلك بين الجسـيمات التي تكون قد كونت تجمعات) يكون التفاعل أكثر سـرعة عند درجات حرارة عالية $(Q_{10} = 3)$ ، وتزداد كثيراً في المعدل كلما انخفض الأس الهيدروجيني ، وهذا يعني أن التفاعل الكيميائي عادة يشـرك

الجسـيمات شـبه الغروية ، على الأقل أثناء تسـخين اللبن غير المعامل . يتم التفاعل الأول عند معدل منخفض ، حتى يصـل الأس الهيدروجيني عادة إلى حوالي 6.2 عند درجة حرارة الغرفة ، عندما يصـبح التفاعل الثاني سـريعاً . يتم تحديد الـ HCT بواسـطة معدل تكون الحامض أثناء التسخين .

هناك نقطة أخرى هامة هي اسـتنزاف الكابا كازين من الجسـيمات جاعلة منها جسيمات قليلة الشعر ، وهذا يمكن شرحه بواسطة النتائج الموجودة في شكل B 2.7 ، حيث نعتبر أولاً المنحنى في غياب بروتينات المصـل عند درجات حرارة عالية ، بروتين أكثر يكون خارج الجسـيمات عند قيم أس هيدروجيني أعلى ، هذا يكون للجزء الأكبر من الكابا كازين . هناك تعادل بين الكابا كازين في الجسـيمات وفي المحلول ، والذي ينحرف ناحية المحلول بزيادة الأس الهيدروجيني . ويلاحظ أيضاً أن التغير يكون أكثر وضوحاً في وجود بروتينات المصل ، وتوجد على مسـتوى ضـيق للأس الهيدروجيني ، وكما ذكر سـابقاً (انظر تحت فصـل 2.2.2.7) البيتا لاكتوجلوبيلين والكابا كازين تتفاعل عند درجة حرارة عالية . عند أس هيدروجيني عالي (6.7 <) . ويحدث هذا للجزء الأكبر في المحلول بانخفاض تركيز الكابا كازين في المحلول ، وبالتالي يختل التوزيع بين الكابا كازين في المحلول وفي الجسيمات . والنتيجة هي أن كابا كازين كثيرة تترك الجسيمات . عند أس هيدروجيني منخفض (6.7>) فإن العكس يحدث . وبالتالي سـوف تكون حالة اسـتنزاف الجسـيمات أقل ثباتاً للتجمع من تلك الموجودة مع شـعيرات الكابا كازين . وعندما يسـتكمل الاستنزاف بالكامل ، فإن الجسيمات سوف تكون أكثر ثباتاً عند أس هيدروجيني أعلى لأن ذلك يقتضي شحنة سالبة عالية ، وهذا يكون صحيحاً للجسيمات التي لا تكون قد استنزف الكابا كازين فيها .

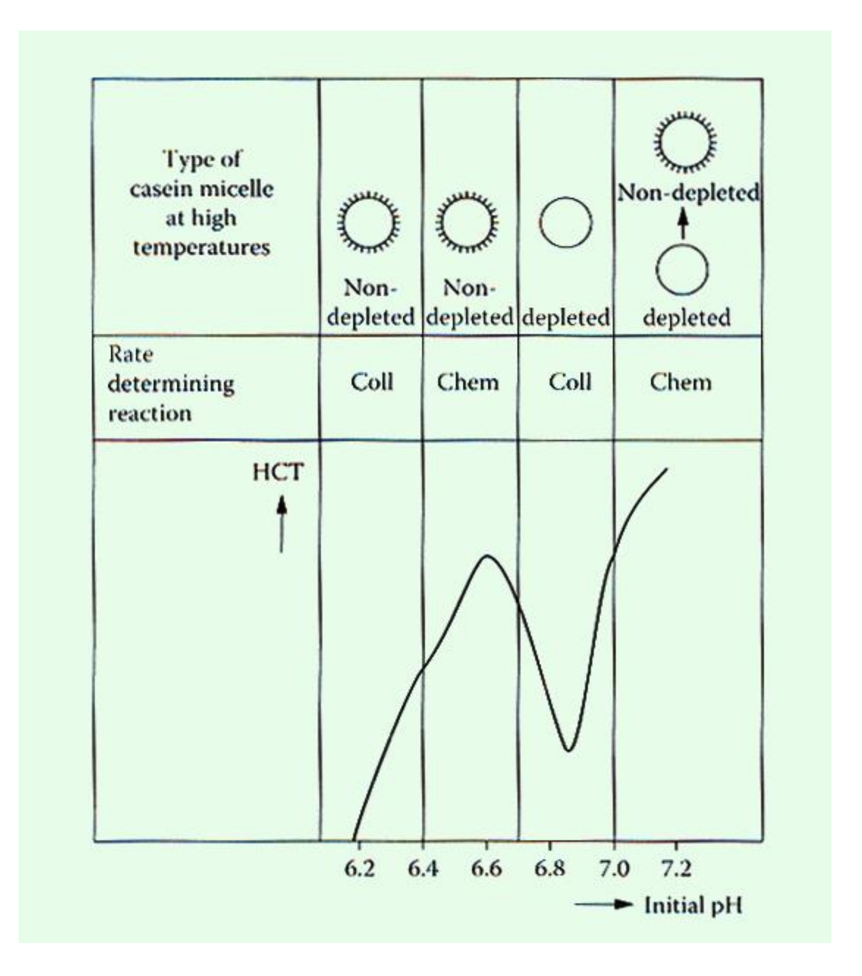
تؤدي العلاقات التي تم مناقشتها إلى النموذج الموجود في شكل 7.7 عند أس هيدروجيني ابتدائي عالي . تصبح الجسيمات مستنـزفة من الكابا كازين ويكون معدل التفاعل شبه الغروي محدداً لعملية التجبن إذا كان الأس الهيدروجيني في البداية لا يزال مرتفعاً ، تكون الجسـيمات ثابتة

بصـورة كافية (شـحنة كهربية عالية ، $a_{ca^{2+}}$ منخفض للغاية) لكي تسـمح للأس الهيدروجيني أن ينخفض حتى تصبح شـعرية مرة ثانية ، المعقد المتكون بواسـطة بيتا – لاكتوجلوبيلين وترسـبات الكابا كازين على سطح الجسيمات معطياً تنافراً ، الآن يكون الأس الهيدروجيني منخفضاً بصورة كافية للروابط العرضـية الكيميائية لكي تحدد المعدل ، كما هو الحال أيضـاً إذا كان الأس الهيدروجيني الابتدائي عند 6.6 . عند الأس الهيدروجيني المخفض للغاية يكون نشـاط أيون الكالسيوم عالياً لدرجة أن التفاعل شبه الغروي يكون الأسرع .

2.4.2.7 اللبن المركز *Concentrated Milk*

ومن الناحية العملية التجبن الحراري للبن نادراً ما تكون مشـكلة ، ولكن اللبن المركز (مثل اللبن المبخر) يمكن أن يتجبن أثناء التعقيم . وهو أقل ثباتاً من اللبن غير المعامل ، كما يتضـح من مقارنة الأجزاء B , C في شـكل 6.7 ؛ لاحظ الاختلاف في درجة الحرارة . يكون هذا الثبات المنخفض في البداية راجعاً إلى تركيز الكازين المرتفع . يتم التفاعل من الدرجة الثانية بشكل أسرع عند التركيزات المرتفعة (على شرط أن يظل ثابتاً ، معدل التفاعل لا يتغير) ، بالإضـافة إلى ذلك فإن حالات أخرى تتغير بتركيز اللبن . بالرغم من أن أغلب الأجزاء تعمل نفس الميكانيكيات أثناء المعاملة الحرارية ، هناك اختلافات هامة في النتائج بين اللبن واللبن المركز .

تبدأ ثباتية اللبن المركز للحرارة في الزيادة في مدى الأس الهيدروجيني الحامضـي إذا كان اللبن الأصـلي قد تم تسـخينه من قبل ، لأن ذلك له تأثير طفيف على ثباته الحراري . ويمكن شـرح ذلك كالتالي : في اللبن المركز الذي لم يتم تسـخينه من قبل فإن بروتينات المصـل تكون في الحالة الطبيعية . أثناء التسـخين لدرجة 120 مئوية فإن ، بروتينات المصـل يحدث لها دنترة وفي مدى الأس الهيدروجيني الحامضـي تتجمع بقوة نتيجة للتركيز العالي لبروتين المصـل وبذلك يتكون الهلام . بمعنى آخر تم احتواء جسـيمات الكازين في هلام بروتين المصـل عند أس



شكل 7.7 نموذج لتأثير الأس الهيدروجيني الابتدائي على نوع جسيمات الكازين الناتجة عند درجة حرارة عالية وكذلك على وقت التجبن الحراري للبن (HCT). Coll = التجمع شبه الغروي .chem= تفاعل كيميائي

Figure 7.7 Model for the effect of initial pH on the type of casein micelle emerging at high temperature and thereby on the heat coagulation time (HCT) of milk. Coll = colloidal aggregation, chem. = chemical reaction

هيدروجيني مرتفع فإن بروتينات المصـــل المدنترة تظل ذائبة ولا يتكون هلام بروتين المصـــل في اللبن المركز من لبن تم تســـخينه من قبل تكون بروتينات المصـــل قد تم دنترتها وأصـــبحت مرتبطة مع

جسـيمات الكازين . أثناء تسـخين اللبن غير المبخر والذي تم تسـخينه من قبل ، يكون تكوين الهلام غير ممكن لأن تركيز بروتين المصـل يكون منخفضـاً للغاية ، وفي اللبن المركز سـوف لا يحدث لأن بروتينات المصل قد حدثت لها دنترة .

بالإضـــافة إلى ذلك في اللبن المركز زيادة الثبات من أس هيدروجيني 6.2 إلى 6.5 يكون راجعاً إلى انخفاض نشـاط الكالسـيوم كما هو الحال في اللبن . نقص الثباتية عند الأس الهيدروجيني 6.6 يكون سببه تفكك الكابا كازين وتكون نتيجته بقاء الجسيمات المستنزفة التي تكون حساسة للكالســـيوم . إذا زاد الأس الهيدروجيني إلى أعلى من 7 لا يزيد الثبات ثانية كما يحدث في اللبن (شـــكل B 6.7) ويرجع هذا إلى زيادة تركيز الملح ، زيادة تركيز الملح في اللبن غير المركز له نفس التأثير على الثبات الحراري عند الأس الهيدروجيني المرتفع . وعلى فرض أنه أثناء التسـخين ارتبطت فوسـفات كالسـيوم كثيرة مع الجسـيمات لتجعلها غير ثابتة . وهذا الوضـع يمكن مقارنته بأيونات الكالسـيوم المسببة لتجبن الجسيمات المسـتهلكة في اللبن غير المركز . ولكن التفاعل مع فوسـفات الكالسيوم يكون أسرع بكثير .

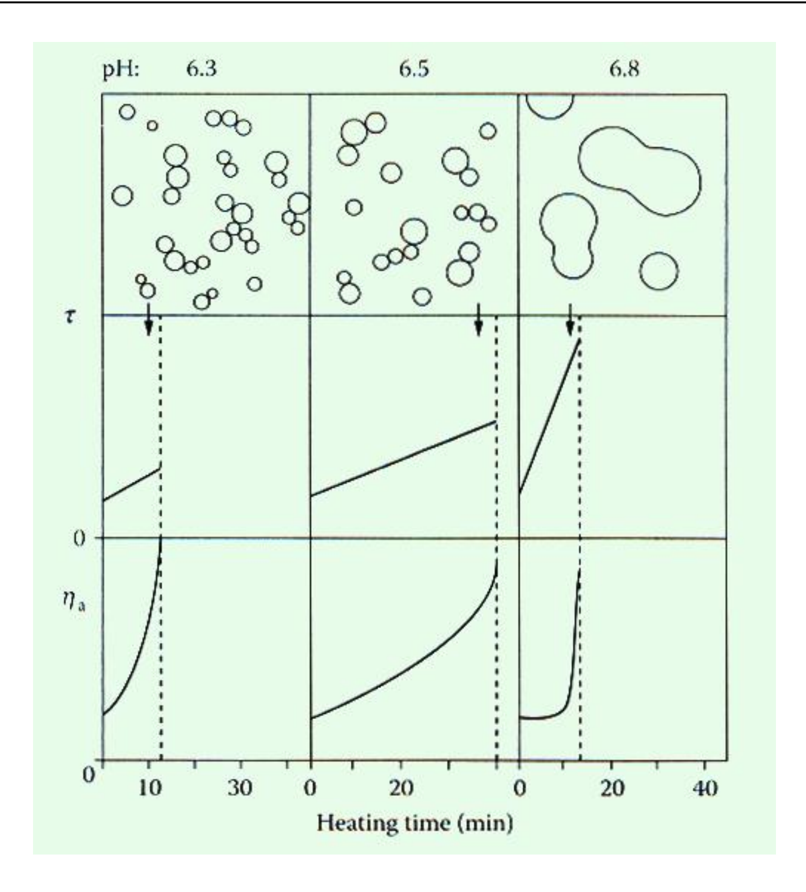
هنـاك تعقيـد آخر ، وهو أن لنفس معـدل التفـاعـل يمكن أن يكون وقـت التجبن مختلفاً للغاية تحت نفس الظروف . وهذا أحسن وضوحاً للبن الفرز المركز ، كما هو موجود في شكل 8.7 الذي يقارن حرارة التجبن عند أس هيدروجيني قريب من 6.5 (الأس الهيدروجيني الأمثل) مع ذلك عند قيم مرتفعة وقيم منخفضة (انظر الشكل C 6.7) . بالقرب من الأس الهيدروجيني 6.3 تتجمع الجسـيمات لتكون ندفاً مفتوحة ، والتي تملأ الحجم كله ، أثناء تكون الهلام . هذا سـوف يناقش كتجمع كسـري في تحت فصـل 2.3.1.3 بالتوافق مع التركيب المفتوح للتجمعات، العكارة لا تزداد كثيراً ولكن اللزوجة تزداد . كســر الحجم المؤثر للمـادة يزداد كثيراً . عنـد أس هيـدروجيني 6.8 الجسـيمات المسـتنزفة تميل إلى الاتحاد مع أخرى كبيرة عند التجمع . ويؤدي هذا إلى زيادة كبيرة في العكارة ولكن لا يؤدي إلى لزوجة أعلى ، كســر الحجم لا يتغير . في المراحل النهائية فقط تصـبح التجمعات غير منتظمة الشـكل وتكون الهلام ، عند أس هيدروجيني 6.3 حوالي 10 جســيمات

يمكن أن تكون تجمعاً ذا حجم حرج لتكوين الهلام ، بينما سوف يتكون التجمع متساوي القياس المتكون عند أس هيدروجيني 6.8 من حوالي 1000 جسيم ، وبرغم ذلك فإن الـــ HCT تكون واحدة . وهذا يعني أن معدل تفاعل التجمع $\left(\frac{dN}{dt}\right.$ حيث N هي عدد الجزيئات) يكون أعلى بكثير من عند الأس الهيدروجيني الأعلى . عند أس هيدروجيني 6.5 بالقرب من HCT الأقصى ، يتم التفاعل لأغلب الأجزاء كما هو عند الأس الهيدروجيني 6.3 ، بالرغم من أن بعض اتحاد الجزيئات قد يحدث ، إلا أن التفاعل يكون أبطأ ، نتيجة للأس الهيدروجيني العالي لوجود تنافر إليكتروستاتيكي أقوى .

3.4.2.7 الاستنتاجات *Conclusions*

إن أغلب التأثيرات على حرارة تجبن اللبن يمكن شرحها باستخدام النموذج الذي سبق شرحه عالياً ، فمثلاً نحن نملك :

1. **مكونات البروتين Protein Composition** : تأثيرها يخص النسبة بين الكابا كازين والبيتا لاكتوجلوبيلين . فكلما كبرت كمية البيتا جلوبيلين كلما كانت HCT الأعلى (القصـــوى) وهذا يرجع إلى أن وجود البيتا جلوبيلين الذي يزيد من تفكك الكابا كازين عند أس هيدروجيني أعلى من 6.7 والذي يؤدي إلى تكون أكثر وأقوى جسيمات مستنـــزفة . HCT القصوى الأعلى The Higher Maximum HCT عند أس هيدروجيني 6.6 يمكن أن ينتج عن زيادة تجمع البيتا لاكتوجلوبيلين مع الجسيمات التي يمكن أن تسرع تنافر شبه الغرويات .
2. **محتوى اليوريا** : كلما ارتفع المحتوى من اليوريا ، كلما كان اللبن أكثر ثباتاً للتجبن الحراري، على الأقل بالقرب من الأس الهيدروجيني الأمثل Optimum ويمكن تفســير ذلك بأن اليوريا تخفض الأس الهيدروجيني ، ولكن هناك عوامل أخرى أيضـاً بالصـدفة ، اليوريا لا تؤثر على الثبات الحراري للبن المركز (إلا إذا كانت تركيزات اليوريا عالية جداً) .



شكل 8.7 حرارة التجبن عند 120 درجة مئوية للبن الفرز المركز عند أس هيدروجيني ابتدائي ، الصف الأعلى يوضح مظهر جسيمات الكازين (تم الحصول عليها من صور ميكروسكوب إليكتروني) عند اللحظات الموضحة بالأسهم ، أي قبل حرارة التجمد مباشرة . الـ HCT تم تمثيلها بخط متكسر رأسي ، الصف الثاني يمثل العكارة (τ) كدالة على وقت التسخين ، الصف الثالث يمثل اللزوجة (η_a) .τ و η_a تحدد في المكان ، أي عند 120 درجة مئوية . نتائج تقريبية

Figure 7.8 Heat coagulation at 120°C of concentrated skim milk at various initial pH. The upper row shows the appearance of the casein micelles (derived from electron micrographs) at the moments indicated by arrows, i.e., shortly before heat coagulation. The HCT is indicated by a vertical broken line. The second row gives the turbidity (τ) as a function of heating time, the lowest row the apparent viscosity (η_a). τ and η_a were determined in situ, i.e., at 120°C. Approximate results. (Adapted from results obtained by J.A. Nieuwenhuijse et al., *Neth. Milk Dairy J*., 45, 193-224, 1991)

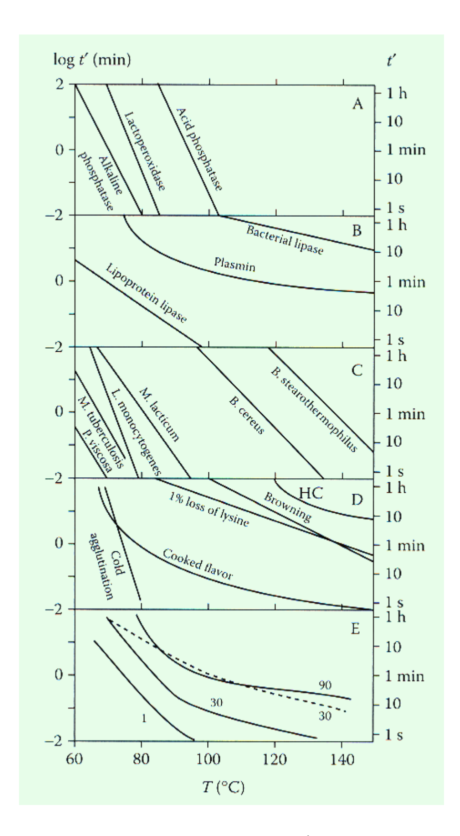
3. **تركيب الأملاح** : تأثيرها الأساسي هو من خلال محتوى الكالسيوم والفوسفات . إضافة ملح معين للبن يمكن أن يخل بقوة كل التوازنات الملحية الموجودة . (تحت فصل 5.2.2) إضافة الكالسيوم والفوسفات للبن حتى تصل للتركيزات الموجودة في اللبن المركز) ، تسبب ثباتاً حرارياً عند أس هيدروجيني أكبر من 6.8 لكي يصير مساوياً للبن المركز أي يساوي صفر .
4. **الدهن** : الدهن في حد ذاته لا يؤثر على الثبات الحراري ، وهذا ليس به مفاجأة ، وعلى اعتبار أن حرارة التجبن هي تجبن جسيمات الكازين . وهذا يكون مختلفاً إذا دخل الكازين السطح البيني لبلازما كريات الدهن ، كما يحدث في عملية التجنيس (انظر شكل 7.9) . وهذا يجعل سلوك كريات الدهن مثل جسيمات الكازين الكبيرة وتتجبن مع الجسيمات . ونتيجة لذلك يميل التجنيس في منتجات مثل القشدة واللبن المركز ، إلى خفض الثبات الحراري .

3.7 شدة التسخين *Heating Intensity*

تنتج شدة عملية التسخين عن وقت التسخين (t') والحرارة (T) . يعطي شكل 9.7 أمثلة عديدة . سوف تختلف تأثيرات تجمع معين من t' و T لأنها تعتمد على التفاعل المعني مثل تثبيط إنزيم معين أو تكوين منتجات ميللارد . تحدث بعض التفاعلات بسرعة عند درجات حرارة منخفضة نسبياً ، بينما يحتاج بعضها درجات حرارة أعلى بكثير قبل أن يستطيع أن يحدث تأثيراً ملموساً . يختلف اعتماد معدل التفاعل على درجة الحرارة بشكل واسع بين التفاعلات . وهذا يفسر لماذا يكون التفاعل عند تركيبة أو توليفة من t'و T (أي 15 دقيقة عند درجة حرارة 110 مئوية) . التفاعل A أسرع من التفاعل B ، بينما يكون العكس عند توليفة أخرى مثل 10 ثواني عند 140 درجة مئوية (انظر أيضاً شكل 10.7) .

1.3.7 عمليات حرارية مختلفة الشدة

عند تقسيم عمليات حرارية على أساس شدتها ، يجب أن يوجه انتباه خاص لقتل الكائنات الدقيقة الحية ولتثبيط الإنزيمات ، التالي عبارة عن عمليات معتادة :



شكل 9.7 مجموعات من درجات حرارة (T) والوقت (t') للمعاملة الحرارية للبن التي تسبب (A , B) عدم التنشيط (نقص النشاط لحوالي 1%) لبعض إنزيمات اللبن والليبيز البكتيري ، (C) القتل (التقليل من العد البكتيري إلى 10^{-6}) سلالات البكتيريا بسودموناس فيسكوزا ، ميكو باكتيريم تيبيركيلوزس ، ليستيريا مونوسيستوجينيس ، وميكروباكتيريم لاكيكم ، وجراثيم (10^{-4}) باسيليس سيريس و ب. ستيروثيرموفيليس ، (D) تجبن حراري واضح (HC) درجة معينة من اللون البني ، نقص لحوالي 1% ليسين ، نكهة مطبوخة واضحة ، وتثبيط التخثر البارد ؛ (E) عدم ذوبانية 1% و 30% و 90% بيتا لاكتوجلوبيلين ، و30% من الألفا لاكتالبومين (...) نتائج تقريبية

Figure 7.9 Combinations of temperature (T) and time (t') of heat treatment of milk that cause (A, B) inactivation (reduction of activity to about 1%) of some milk enzymes and a bacterial lipase; (C) the killing (reduction of the count to 10^{-6}) of strains of the bacteria *Pseudomonas viscose*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Listeria monocytogenes*, and *Microbacterium lacticum*, and of spores (10^{-4}) of *Bacillus cereus* and *B. stearothermophilus*; (D) visible heat coagulation (HC), a certain degree of browning, decrease in available lysine by 1%, a distinct cooked flavor and inactivation of cold agglutination; (E) insolubilization of 1%, 30%, and 90% of the β-lactoglobulin, and of 30% of the α-lactalbumin (---). Approximate results

1. **استخدام الحرارة المعتدلة بين 60 و 69 Thermalization** : هذه معاملة حرارية منخفضة الشدة لقتل البكتيريا خاصة المحبة للبرودة ، حيث ينتج كثير منها إنزيم الليبيز المقاوم للحرارة ، والبروتينيز الذي من المحتمل أن يسبب تدهوراً للمنتجات اللبنية . هذه المعاملة غير قادرة على قتل كثير من الكائنات الدقيقة الخضرية والتثبيط الجزئي لبعض الإنزيمات ولا تسبب هذه المعاملة الحرارية تغيرات غير عكسية في اللبن .
2. **البسترة المنخفضة** : هذه معاملة حرارية ذات شدة معينة تثبط إنزيم الفوسفاتيز القاعدي (انظر 1.3.1.3) في اللبن ، وتتم هذه المعاملة بالتسخين لمدة 30 دقيقة عند 63 درجة مئوية أو لمدة 15 ثانية عند درجة 72 درجة مئوية . أغلب الكائنات الممرضة التي يمكن أن توجد في اللبن تقتل بهذه الطريقة ، وخاصة ميكروب ميكوباكتيريم تيبيركيلوزيس *Mycobacterium tuberculosis* هذه البكتيريا مقاومة للحرارة نسبياً ، والتي كانت من بين مسببات الأمراض الأكثر خطورة . كل الخمائر والأعفان وأغلب (وليس كل) البكتيريا الخضرية تقتل بهذه المعاملة . بعض الأنواع من mycobacterium التي تنمو ببطء في اللبن لا تقتل (شكل C 9.7) . بالإضافة على ذلك ، تثبط بعض الإنزيمات ولكن ليس كلها ، تتغير نكهة اللبن بصعوبة . قليل من بروتينات المصل يحدث لها دنترة وليس كلها . والتخثر على البارد وخواص بكتيرية معينة تبقى دون تغيير . معاملة حرارية شديدة غالباً ما تستخدم (مثل 20 ثانية عند 75 درجة مئوية) ؛ (انظر تحت فصل 1.1.16) هذه الأسباب مثل دنترة الجلوبيلينات المناعية (تقل في التخثر البارد والنشاط البكتيري السكوني) وفي بعض الأوقات يمكن الإحساس بتغير في نكهة اللبن .
3. **البسترة العالية** : تحطم هذه المعاملة الحرارية نشاط إنزيم اللاكتوبيروكسيديز (انظر 7.1.11.1) لمدة 20 ثانية عند درجة 85 مئوية ، إلا أن درجات الحرارة العالية حتى درجة 100 مئوية تستخدم في بعض الأوقات . حقيقة كل الكائنات الدقيقة الخضرية تقتل بهذه المعاملة ولكن ليس الجراثيم البكتيرية . أغلب الإنزيمات تثبط ولكن بروتينيز اللبن (البلازمين) وبعض البروتينيز

البكتيري والليبيز لم تثبط أو تثبطت جزئياً ، أغلب الخواص البكتيرية الساكنة للبن تم تحطيمها ، دنترة جزء من بروتينات المصل تحدث ، تتكون نكهة مطبوخة مميزة نكهة غازية "Gassy" تتكون في القشدة ، لا توجد تغيرات معنوية في القيمة الغذائية ماعدا فقد فيتامين C . ثباتية المنتج بالنسبة للأكسدة الذاتية للدهن تزداد ماعدا دنترة البروتين ، تفاعلات كيميائية غير عكسية تحدث فقط لمدى محدود .

4. **التعقيم Sterilization** : إن هذه المعاملة الحرارية يقصد بها قتل جميع الكائنات الدقيقة ، بما فيها الجراثيم البكتيرية ، وتتم هذه المعاملة في درجة حرارة 110 مئوية لمدة 30 دقيقة (في إناء تعقيم) أو 30 ثانية عند 130 درجة مئوية ، أو ثانية واحدة عند 145 درجة مئوية عادة ما تكفي ، المعاملتان الأخيرتان هما مثال لما يسمى الحرارة العليا الفائقة UHT والوقت القصير ، تكون بعض التأثيرات الأخرى لكل من هذه المعاملات الحرارية مختلفة ، التسخين لمدة 30 دقيقة عند 110 درجة مئوية يثبط إنزيمات اللبن ولكن ليس كل الليبيز والبروتينيز البكتيري يحدث له تثبيط بالكامل . وتسبب تفاعلات ميلارد شديدة مؤدية إلى ظهور اللون البني Browning وتكوين نكهة للبن المعقم وفقد لبعض الليسين المتاح ، وهي تقلل محتوى بعض الفيتامينات ، وتسبب تغيرات واضحة في البروتينات بما فيها الكازين ، كما تنقص الأس الهيدروجيني للبن بحوالي 0.2 وحدة . وعند التسخين لمدة ثانية واحدة عند درجة حرارة 145 مئوية تحدث تفاعلات كيميائية ، تبقى أغلب بروتينات المصل ثابتة لا تتغير ، وتتكون نكهة مطبوخة ضعيفة فقط ، وهي لا تثبط جميع الإنزيمات مثل البلازمين فمن الصعب أن يتأثر وبعض الليبيز البكتيري والبروتينيز لا يتأثر ، وعلى ذلك فإن مثل هذه المعاملة الحرارية القصيرة نادراً ما تستخدم .

5. **قبل التسخين Preheating** : وهذا يمكن أن يعني أي شيء من التسخين المنخفض إلى الأكثر شدة . وغالباً ما تختص بتسخين ذو شدة مختلفة أي مكان بين البسترة المنخفضة والتعقيم .

2.3.7 جوانب حركية *Kinetic Aspects*

كما ذكر في تحت فصـــل 1.2.7 عند درجات حرارة مرتفعة تحدث تفاعلات كيميائية عديدة في اللبن . ســرعة التفاعلات كما يكون الاعتماد الحراري للمعدل مختلفاً ، وســوف تتم مناقشـــة بعض جوانب التفاعلات الآن . وخاصـــة التفاعلات الهامة للدنترة الحرارية للبروتينات الكروية . تكون المجموعة الأخيرة من التفاعلات ذات أهمية قصوى بسبب النتائج المشتركة شاملة عدم ذوبانية بروتينات المصـــل ، تثبيط الإنزيمات والجلوبيلينات المناعية وقتل البكتيريا وجراثيمها . الدنترة نوقشت باختصار في تحت فصل 3.1.4.2 وتحت فصل 2.2.7 .

تختص المناقشة الحالية بالتغيرات غير العكسية ، ولكن الدنترة في حد ذاتها (أي عدم ثني السلاسل الببتيدية) تكون عكسية ، يعرض عدم الثني الذي تسببه درجات الحرارة العالية مجموعات جانبية يمكن أن تتفاعل . تؤدي هذه عادة إلى تغيرات غير عكســية كما تم ذكره في تحت فصـــل 2.2.7 . إن المعدل الذي عنده تحدث عدم الذوبانية أو التثبيط عادة ما يحدد بواسطة معدل الدنترة .

1.2.3.7 معادلات أساسية *Basic Equations*

تستخدم معادلة تفاعل الدرجة الأولى عادة لدنترة البروتين وتثبيط الإنزيمات وقتل البكتيريا والجراثيم ، وعليه يكون عندنا

$$dc/dt = kc \qquad (1.7)$$

حيث c هي التركيز ، t هو الوقت ، و k هي ثابت المعدل . عادة ، ولكن ليس دائماً (انظر خلفه) يظهر أن متوسط هذه الحسابات تقريب مناسب ، يعطي تكامل المعادلة 1.7:

$$In\ (Co/c) = kt \qquad (7.2\ a)$$

أو :

$$c = Coe^{-kt} \qquad (7.2\ b)$$

حيث Co هي التركيز الأصلي .

المقياس t' يســتخدم للإشــارة عن فترة المعاملة الحرارية اللازمة لتأمين تأثير معين مثل 99% تثبيط إنزيم أو تحويل 1% من اللاكتوز الموجود إلى لاكتيلوز ، وعلى ذلك يكون لدينا :

$$t' = In(co/c')/k \qquad (7.3)$$

قيمة معينة لـ t' هي التي فيها $c' = co/10$ هذا الانخفاض الوقتي العشري D يمكن حسابه بـ

$$D = (In10)k = 2.3k \qquad (7.4)$$

باســتخدام المعادلة 3.7 والمعادلة 4.7 t' معينة وD يمكن أن تتحول إلى قيمة لشــدات تســخين مطلوبة أخرى ، عدد الانخفاضات العشرية تتناسب مع t' . معادلة تفاعل تشير إلى الدرجة صفر zero-order kinetics

$$dc/dt = k \qquad (7.5)$$

تســتخدم عادة إذا كانت تخص تكوين مادة كانت غائبة من البداية ، وهذا يمكن أن يسمح لخطوات تفاعل البداية أي في تفاعل ميللارد حتى إلى نسبة قليلة لسكر مختزل يتفاعل مع بقايا ليســين ، قيمة k الآن تعتمد على التركيز الابتدائي لهذه المتفاعلات ، تكامل المعادلة 5.7 تعطي :

$$c = kt + Co \qquad (7.6)$$

حيث عادة قيمة المطلق "Blank" $Co = o$ الوقت المطلوب للوصــول إلى كمية معينة المحلول (c') تكون متناســبة مع c' . درجة حرارة التفاعل يفترض أن تتبع علاقة أررينيس Arrhenius relationship وعلى ذلك يكون لدينا :

$$k(T) = ko\exp(-Ea/Rt) \qquad (7.7)$$

حيث T هي درجة الحرارة المطلقة ، و Ko ثابت المعدل المفترض إذا كانت Eo تقترب من صــفر، Ea تســمى طاقة التنشيط المولاري بالجول مول$^{-1}$ و R تســاوي ثابت الغاز 8.314 جول مول$^{-1}$ كلفن$^{-1}$ ($8.314 J.mol^{-1}k^{-1}$) .

[ملاحظة ، من الأكثر دقة أن لا تستخدم طاقة التنشيط E_a (طبقاً لـــ Arrhenius) ، ولكن تستخدم طاقة التنشيط الحر $\Delta G^{\ddagger}$ (طبقاً لنظرية المعقد النشط) لأن $G = H - TS$ وهذا يؤدي على اعتماد حراري لمعدل التفاعل للشكل :

$$k(T)\alpha \ \exp(-\Delta H^{\ddagger}/RT)\exp(\Delta S^{\ddagger}/R) \qquad (7.8)$$

حيث $\Delta H^{\ddagger}$ هي Activation enthalpy (والذي يســـاوي E_a) و $\Delta S^{\ddagger}$ إنتروبيا التنشـــيط (عامل رياضـــي يعتبر مقياســـاً للطاقة غير المســـتعادة في نظام دينامي حراري) لأغلب التفاعلات $\Delta S^{\ddagger}$ تكون صـــغيرة ، ولكن ليس لتفاعلات دنترة البروتينات ، لأن عدم ثني Unfolding السلاسل الببتيدية يسبب زيادة كبيرة في الإنتروبيا Entropy .

الاعتماد الحراري في بعض الأوقات يعبر عنه بقيمة Z أي الارتفاع الحراري المطلوب لزيادة معدل التفاعل بواسطة العامل المضروب في 10 ، وعلى ذلك :

$$k(T+Z)/k(T)=10 \qquad (7.9)$$

أو يعبر عنها ك Q_{10} والتي تعرف بواسطة :

$$Q_{10}=k(T+10)/k(T) \qquad (7.10)$$

عند التطبيق غالباً ما نرســـم منحنيات كالموجودة في شـــكل 9.7 ، حيث لوغاريتم t' يرســـم كدالة للحرارة . عادة خطوط مســـتقيمة يتم الحصـــول عليها . هذه المنحنيات لها دلالة كبيرة مثل اتحاد الدرجات المثلى وفترة التســـخين يمكن أن نحصـــل عليها من هذه المنحنيات ، وبعد كل ذلك من المرغوب فيه قتل البكتيريا المشـــتركة ، ولكي نشط الإنزيمات ، بينما في الجانب الآخر تغيرات غير مرغوبة فيها ، مثل تكوين مواد اللون والنكهة يجب أن نجد منها . المعايير المطلوبة يمكن غالباً الاقتراب منها ، لأن أغلب التغيرات المرغوبة تعتمد بقوة على درجة الحرارة من أغلب التغيرات غير المرغوبة ، وهذا موضـــح في الجدول 2.7 . في جميع هذه الحالات يجب أن نعلم إلى أي مدى قيم t' المعطاة تنتمي إلى تثبيط البكتيريا ، قتل البكتيريا والجراثيم و... الخ ، هذه التغيرات مثل "الوقت المطلوب لتثبيط إنزيم البيروكسيديز" غير كافية . مثال تم توضيحه في شكل 10.7 ، وهذا المثال يشير إلى قتل جراثيم باسيلس سيبتيلس *Bacillus subtilis* (كائن حي له مقدرة كبيرة على إحداث الفســـاد في اللبن المعقم) وتكوين اللاكتيلوز ، ولكي نتأكد من ذلك ، اللاكتيلوز يوجد في اللبن بكميات صـــغيرة له أهمية قليلة . دنترة تركيزاته في اللبن تســـتخدم لتوضـــيح إلى أي مدى توجد تغيرات غير مرغوب فيها في النكهة واللون والقيمة الغذائية نتيجة للمعاملة الحرارية .

لكي نحدد شــدة التســخين المطلوبة ، يجب أن نعرف التركيز الابتدائي للمواد في اللبن . المواد الطبيعية في اللبن شــــاملة الإنزيمات لا تختلف كثيراً في التركيز عادة ، وعلى ذلك تركيز محدد يمكن أن يتم افتراضه . ولكن المحتوى البكتيري أو الإنزيمات التي أفرزتها تختلف في الشدة .

جدول 2.7 أمثلة نموذجية للاعتماد الحراري لبعض التفاعلات

Table 7.2 Typical Examples of the Temperature Dependence of Some Reactions

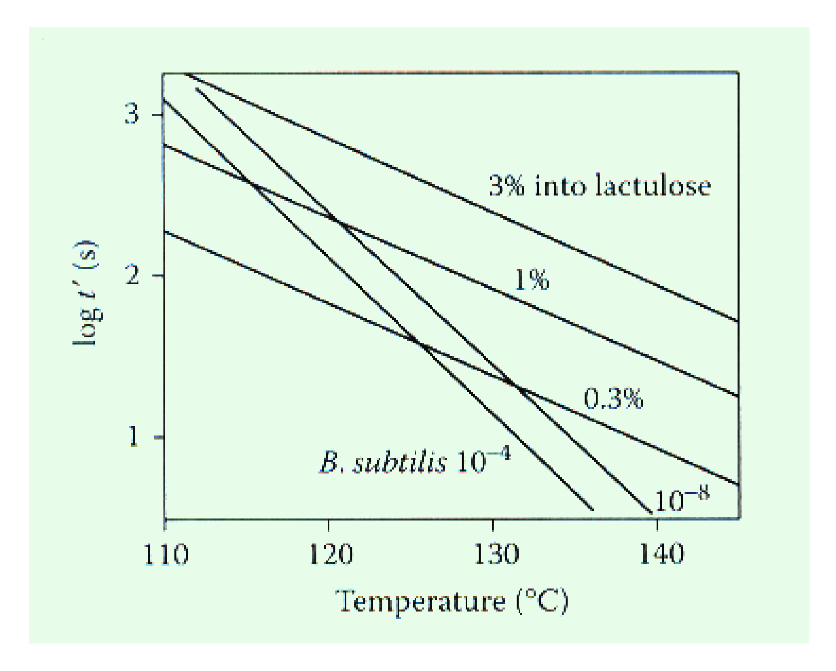
Q_{10} عند 100 درجة مئوية Q_{10} at 100°C	طاقة التنشيط كيلوجول.مول$^{-1}$ Activation Energy[a]	نوع التفاعل Type of Reaction
3-2	125-80	تفاعلات كيميائية كثيرة Many chemical reactions
$2.2^b - 1.6$	55-35	أغلب تفاعلات تحفيز الإنزيمات Most enzyme-catalyzed reactions
$3.8^b - 1.7$	100-40	الأكسدة الذاتية للدهون Autoxidation of lipids
5-2.4	180-100	تفاعلات ميللارد Maillard reactions
75-4	500-150	حرارة دنترة البروتينات Heat denaturation of proteins
50	450	تثبيط الإنزيم Enzyme inactivation
75-6	500-200	قتل البكتيريا النباتية Killing of vegetative bacteria
18-9	330-250	قتل الجراثيم Killing of spores

a. عادة حرارة تنشيط ظاهرية أو متوسط حرارة التنشيط لأنها تخص عدد من التفاعلات المتتالية .

b. عند درجة حرارة 25 درجة مئوية .

a. Often an apparent or average activation energy because it mostly concerns a number of consecutive reactions.

b. At 25°C.



شكل 10.7 الوقت المطلوب (t') لتحويل نسب معينة للاكتوز إلى لاكتيلوز عند درجات حرارة مختلفة ، وللحصول على مدى محدد لقتل جراثيم البكتيريا باسيلس سيبتيليس *Bacillus subtilis*

Figure 7.10 The time needed (t') at various temperatures to convert certain percentages of lactose into lactulose, and to obtain a certain extent of killing of *Bacillus subtilis* spores

2.2.3.7 تعقيدات *Complications*

إن العلاقات المعطاة عاليه يمكن ألا تكون محددة بدقة . تعقيدات ممكنة هي كالتالي :

1. إن تغيراً معيناً تمت ملاحظته لا يكون نتيجة لتفاعل واحد ولكن لعدة تفاعلات متتابعة ، وهذا يكون غالباً في المادة المعقدة مثل اللبن . إذا كان تحت كل الظروف التفاعل هو نفسه المحدد للمعدل ، فإن العلاقات يمكن أن تؤمن ، ولكن ممكن أيضاً ألا تؤمن ، مثال جيد هو حرارة التثبيط لإنزيم اللبن بلازمين ، كما هو موضح في شكل B 9.7 . يكون الرسم البياني منحنياً ، والذي له علاقة بالحقيقة التي توضح أن جزء البروتين يجب أن يكون غير منثن أولاً

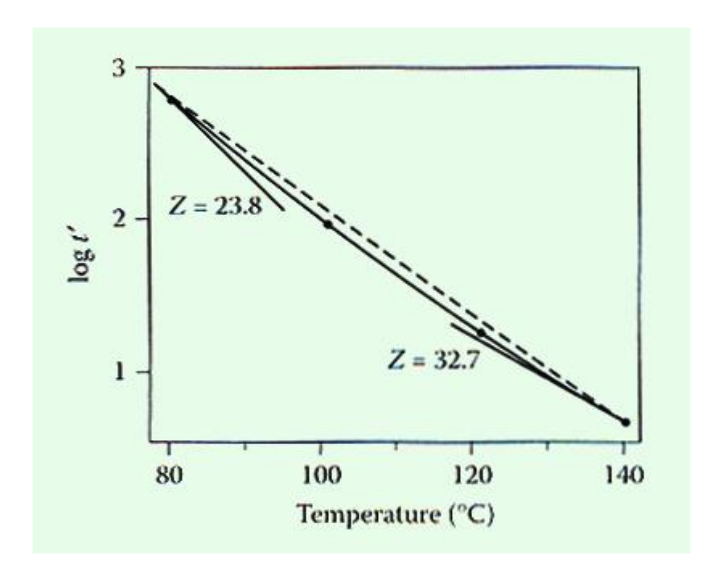
وقبل تفاعل ثان فإنه يمكن أن يسبب تثبيطاً غير عكسي . عدم انثناء السلسلة الببتيدية (عملية دنترة) هو تفاعل قوي معتمد على درجة الحرارة ، بينما التفاعل الثاني عادة له Q_{10} صغيرة . وبمعنى آخر يكون التفاعل الأول عند درجات تسخين منخفضة هو المحدد للمعدل ، ولكن عند درجات حرارة عالية يكون التفاعل الثاني هو المحدد ، إذا كان ذلك بطيئاً نسبياً . إن مثل هذه العلاقات ، وكذلك علاقات معقدة أخرى عادة ما تحدث . تعقيدة أخرى إضافية يمكن أن تكون ، هي أن التفاعلات المختلفة تكون درجاتها مختلفة ، وكمثال ، عدم ذوبان بروتين المصل بالمعاملة الحرارية كما هو موضح في شكل E 9.7 . قبل أن يصبح البروتين غير ذائب يجب أن تحدث له عملية دنترة حتى يمكن أن يتجمع . إن تفاعل التجمع Aggregation reaction عادة هو تفاعل من الدرجة الثانية حركياً . وعلى ذلك يكون له علاقة غير خطية ، ولعل هذا أيضاً يقتضي أن المنحنيات الموجودة في شكل E 9.7 لا تطبق على اللبن مع تركيزات بروتين أخرى (أي في اللبن المبخر) .

2. بعيداً عما قد ذكر في البند 1 حتى لتفاعل واحد The activation enthalpy (وأيضاً انتروبيا التنشيط التي ذكرت سابقاً) يمكن أن تكون غير ثابتة . ليس هناك سبب عام يوضح لماذا يكون تنشيط الانتروبيا و Enthalpy غير معتمدين على درجة الحرارة عند التطبيق ، عدم الاعتماد على الحرارة تمت ملاحظته إذا كان المجال الحراري غير واسع ، إلا أن هناك استثناءات لذلك خاصة للبروتين الذي حدثت له عملية دنترة $\Delta H^{+}, \Delta S^{+}$ تعتمد بصورة لصيقة بدرجة الحرارة . وهذه أيضاً لها أهمية ، لأن الظروف يمكن أن تتغير أثناء المعاملة الحرارية. فمثلاً عند حرارة عالية ، الحامض سوف ينتج بالتدريج في اللبن ، بذلك ينخفض الأس الهيدروجيني (شكل 1.7) . عادة جهد الأكسدة–الاختزال Redox potential سوف ينخفض أيضاً (فصل 3.4) ويعتمد ذلك جزئياً على مدى إزالة الأكسجين أثناء عملية التسخين . وعلى أية حال يكون هناك تأثير لكل هذه التغيرات ، وإلى أي مدى سوف يعتمد على نوع التفاعل

المســـتخدم . ويشـــتمل جدول 4.7 على بعض الأمثلة عن تأثير الأس الهيدروجيني في قتل البكتيريا أثناء التسخين .

3. طبقاً للمعادلة 7.7 لوغاريتم k يجب أن يرسم ضد $1/\lambda$ لكي نحصل على خط مستقيم ، لأن t' تتناسب عكسياً مع k (انظر معادلة 3.7) ويمكن أيضاً أن نرسم لوغاريتم t' ضد $1/\lambda$ ولكن رســم لوغاريتم t' ضــد T ســوف يؤدي إلى رســم بياني منحني . مثال ذلك هو في الشـــكل 11.7 . إذا كان مدى درجات الحرارة قليلاً أي أقل من 20 كلفن ، تطابق خط مستقيم مع النتائج يمكن قبوله ، ولكن التقدير الاستقرائي لدرجات حرارة أخرى يكون عادة غير مسموح به . وهذا يمكن أن يرى عندما تستنتج العلاقة لـ Z مع درجة الحرارة .

$$Z = 2.303RT^2 / E_a \qquad (7.11)$$



شكل 11.7 مثال للعلاقة بين لوغاريتم t' ودرجات الحرارة كما حسبت من المعادلة 7.7 لطاقة التنشيط لـــ 100 كيلوجول.مول-1 ($100 KJ.mol^{-1}$)

Figure 7.11 Example of a relation between log t' and the temperature as calculated from Equation 7.7 for an activation energy of 100 $kJ.mol^{-1}$

وعلى ذلك فإن Z تعتمد على درجة الحرارة كما هو موضح في شكل 11.7 حيث تتغير Z بأكثر من 5% لكل 10 كلفن في مدى درجات الحرارة المدروس ، وعندنا أيضاً :

$$Q_{10} = \exp(10E_a / RT^2) \qquad (7.12)$$

وهذا موازٍ لتغير قيمته 5% لكل 10 درجات كلفن .

4. في عمليات التسخين المألوفة ، السائل (مثل اللبن) يتم تسخينه لدرجة حرارة x مئوية ويظل في هذه الدرجة لمدة y ثانية ، ثم بعد ذلك يبرد ، وعلى افتراض أن القيم الاسمية تم تقديرها ، وبمعنى آخر ، فإن التسخين لمدة y ثانية عند x درجة حرارة مئوية ، يمكن أن يؤدي إلى أخطاء خطيرة . وفي المقام الأول هناك انتشار (تغيرات إحصائية) في وقت التواجد أي الوقت الذي يكون فيه حجم من المنتج (اللبن) في معدات التسخين ، وهذا له أهمية في قتل البكتيريا الممرضة أو جراثيم البكتيريا . في أغلب المبادلات الحرارية Heat exchangers (يكون انتشار أنواع المعدات المستخدمة والشائعة) ، في وقت الإقامة صغيراً ، ولكنه يكون عادة غير مهمل فيما يسمى الجزء الحاوي وعادة ما يكون أنبوبة ، حيث يحتفظ بالسائل عند درجة حرارة ثابتة . وهذا يعني أن غالباً ما تأخذ الأنبوبة الحاوية من 10 إلى 20% أطول مما هو مطلوب إذا كان متوسط وقت الإقامة في الأنبوبة يطبق على كل خلية بكتيرية موجودة ، بالإضافة إلى ذلك يمكن ألا تكون درجة الحرارة في الجزء الحاوي ثابتة ولكن تقل من الدخول إلى الخروج نتيجة للفقد الإشعاعي للحرارة ، ولعل هذا يحدث خاصة في المعدات ذات الأحجام الصغيرة .

ومن ناحية أخرى ، فإن التفاعلات (شاملة قتل البكتيريا ، ... الخ) الحادثة أثناء تسخين وتبريد السائل ، لا يمكن عادة تجاهلها لتفاعلات الدرجة الأولى ، يمكن حساب التأثير الكلي للتفاعل بواسطة $\int k(T)dt$. عندما k, T تكون ثابتة ، التكامل يعطي $t'k(T)$ ولكن إذا كانت الحرارة دالة على الوقت فالعملية تكون أكثر تعقيداً . عادة ما نحتاج تكاملاً عددياً ورسماً بيانياً .

يمكن أن تكون النتيجة جاهزة وتوصـــف بأنها الوقت المؤثر للتســـخين t_{eff} أي الوقت الذي يجب أثناء الاحتفاظ بالمنتج عند درجة الحرارة الاسمية لكي نصـــل إلى نفس التأثير . وعلى ذلك يكون لدينا :

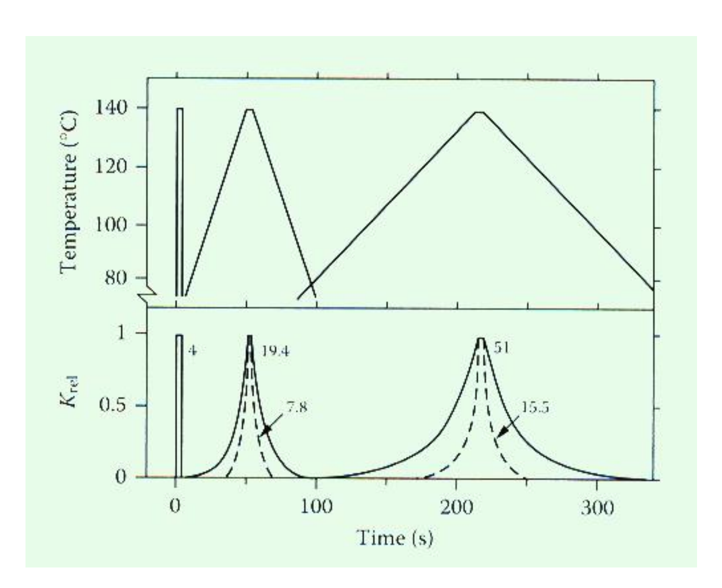
$$t_{eff} = \int k(t)dt / kt \qquad (7.13)$$

حيث k_T هي ثابت معدل الدرجة الأولى عند درجة الحرارة الاسمية . وبالطبع تعتمد النتائج على صـور التسـخين والتبريد وعلى نوع المعدات المسـتخدمة . وكذلك على حرارة التنشـيط للتفاعل . كلما كان الاعتماد الحراري ضعيفاً للتفاعل ، كلما كبر الفرق بين وقت التسخين الفعلي والاسمي . يعطي شكل 12.7 بعض الأمثلة لمعدل التفاعل النسبي كدالة على وقت التسخين لصورتي التسخين والتبريد وقيمتي حرارة التنشيط . تمثل مساحة السطح تحت المنحنيات مدة التسـخين الفعلي عند الحرارة الاسمية . لاحظ أن التفاعل يبدأ في الحدوث بوضوح عند 120 درجة مئوية لـــ $E_a = 330$ كيلوجول.مول$^{-1}$ (أو $z = 10k$ عند 140 درجة مئوية) والتي تكون قيمة مشـــتركة لقتل جراثيم البكتيريا ، لــــ $E_a = 110(z = 30)$ قيمة نموذجية للتفاعل الكيميائي ، وهي الحالة عند 80 درجة مئوية . لاحظ أيضاً أن الفروق بين t' الاسمية والفعلية يمكن أخذها في الاعتبار .

إن الموضـوع الذي أثير في البند 4 له أهمية خاصـة في تعزيز عمليات التسـخين إلى الحدود المثلى . ومن جانب آخر يكون مثل هذا التغيير مثل قتل الجراثيم مرغوباً فيه ، ولكي يتم ذلك نحتاج إلى تأثير أدنى معين . ومن ناحية أخرى ، فالتغيرات التي تسبب انخفاضاً في نوعية المنتج يجب أن تحفظ . إن التســوية الأحســن هي عندما تقوم جميع جزيئات اللبن بدقة وكمجموعة مؤتلفة في الوقت ودرجة الحرارة ، ويعني هذا أن وقت التســخين والتبريد يجب أن يكون مختصــراً كلما أمكن ذلك ، وتكون درجة الحرارة في الحامل ثابتة إلى حد ما ، وقت بقاء اللبن في المعدات يجب أن يختلف في أضيق الحدود .

5. فيما يسمى بالمعاملة الحرارية الفائقة UHT للتسخين المباشر (انظر تحت فصل 2.4.7) يحقن البخار داخل اللبن (والعكس صحيح) لتسخينه من درجة 70 إلى 140 درجة مئوية . يتكثف البخار ويزال الماء المضاف بالتبخير عند ضغط منخفض ، ثم تبريد اللبن ، يحدث تخفيف للبن

بالماء أثناء المعاملة الحرارية ، وهذا ســوف يســبب حدوث تفاعلات جزيئية بيولوجية ببطء ، ويكون معدل التفاعل متناســباً مع تركيزات كل من المتفاعلات ، ويمكن أن يطبق هذا مثلاً على تفاعل ميلارد . لا تتأثر التفاعلات المثبطة للإنزيمات وقتل الكائنات الدقيقة الحية بالتخفيف ، الحرارة المتصاعدة عن تكثف البخار وكمية الحرارة التي يكتسبها اللبن حوالي 280 جول لكل جرام من اللبن . وهذا يقتضــي إضــافة حوالي 0.13 جرام من الماء لكل جرام من اللبن أو تخفيفه بعامل 0.88 ، ويعني هذا أن تفاعلاً جزيئياً بيولوجياً ســوف يتم أكثر بطئاً بعامل قدره 0.88^2 أو 0.78 .



شــكل 12.7 أمثلة تخطيطية لجوانب الحرارة أثناء عملية التســخين (لمدة 4 ثواني عند 140 درجة مئوية) وثابت المعدل المقترح لذلك عند 140 درجة مئوية (k_{rel}) لحرارة تنشــيط قدرها 110 كيلوجول.مول-1 (–) و 330 كيلوجول.مول-1 (...) الأشكال تشير إلى فترة التسخين الفعالة (S)

Figure 7.12 Schematic examples of temperature profiles during a heating process (nominally 4 s at 140°C) and of the ensuing rate constant compared to that at 140°C (K_{rel}) for an activation energy of 110 kJ.mol^{-1} (–) and 330 kJ. mol^{-1} (---). The figures refer to the effective duration of heating (s)

3.3.7 تثبيط الإنزيمات *Inactivation of Enzymes*

إن حرارة تثبيط معظم الإنزيمات تتبع حركياً النوع الأول First-order kineties كما يحدث أثناء دنترة البروتينات الكروية ، يعتمد التثبيط على الحرارة بقوة Q_{10} عادة تكون قيمتها على الأقل 50 قيمة D المساوية لدقيقة قد نصل إليها عادة بين 60 و 90 درجة مئوية . ولكن اللبن يحتوي على بعض الإنزيمات التي يمكن أن تسبب الفساد ولها تغيرات واسعة في حساسيتها لحرارة التثبيط (جدول 3.7) .

بعد الدنترة الفعلية لجزيء الإنزيم ، على الأقل الجزيء الذي يبدأ التفاعل . يكون في حالة آلية لمنع دنترة الإنزيم من الحدوث على البارد (إعادة الجزيء إلى طبيعته يعني حفظ النشاط الإنزيمي) . إنزيمات عديدة تثبط عند شدة تسخين أعلى مما ذكر أعلاه ، وتظهر أيضاً Q_{10} منخفضة ، انظر مثلاً شكل 9.7 B شدة التسخين العالية تكون مطلوبة لبدء التفاعلات لأن هذه الإنزيمات عادة تكون في الحالة الممسوخة (المدنترة) عند درجة حرارة ولنقل 80 درجة مئوية ، العلاقة غير الخطية بين لوغاريتم t' ودرجة الحرارة التي غالباً ما تحدث تمت مناقشتها في تحت فصل 2.3.7 .

ولكن انحرافات أخرى يمكن أن تحدث . شكل 13.7 A يعطي مثالاً لما يسمى حرارة التثبيط المنخفضة low-temperature inactivation جزيئات البروتيز تستهلك "Consume" بعضها البعض ، فمثلاً عند درجة حرارة يكون عندها جزء من الجزيئات في الحالة المدنترة ، الجزيئات في الحالة الطبيعية يمكن أن تحلل سابقتها مائياً ، وبذلك تقوم بتثبيطها ، تكون أغلب البروتينات الكروية المتوطنة (الطبيعية) مقاومة للتحلل البروتيني . ويظهر أن الدنترة نفسها تحدث عند درجة حرارة منخفضة ويكون لها Q_{10} عالية ، وهذا لا ينطبق على حرارة التثبيط (والتي في هذه الحالة ما تتجاوزها كما في شكل 13.7 C) .

جدول 3.7 حرارة تثبيط بعض الإنزيمات في اللبن

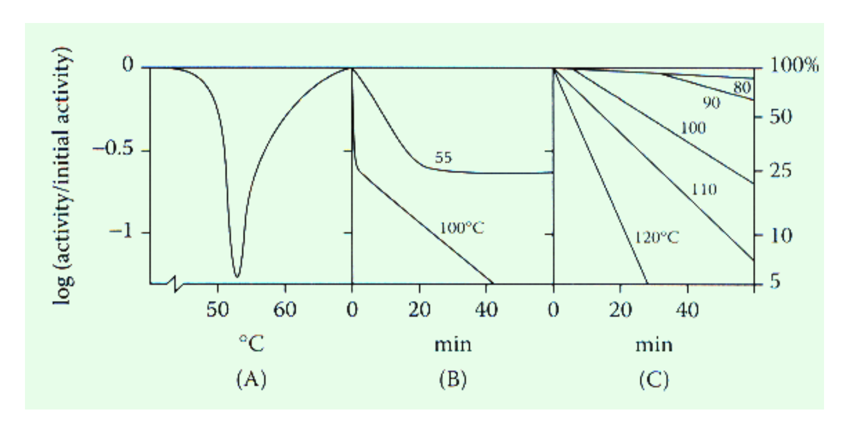
الاعتماد الحراري Q_{10}	قيمة D بالثانية D (s)	درجة الحرارة Temperature (°C)	رقم تحت الفصل EC Number	الإنزيم Enzyme
60	33	70	1.3.1.3	فوسفاتيز قاعدي Alkaline phosphatase
13	20	70	34.1.1.3	ليبيز الليبوبروتين Lipoprotein lipase
46	17	80	22.3.1.1	زانثين أوكسيديز Xanthine oxidase
230	4	80	7.1.11.1	لاكتوبيروكسيديز Lactoperoxidase
150	345	80	1.15.1	سوبر أكسيد ديسميوتيز Superoxide dismutase
180	2	80	1.11.1.6	كاتاليز Catalase
3.3	360	80	3.4.21.7	بلازمين Plasmin
1.5[b]	30	120	4.3.21.7	بلازمين Plasmin
10.5	45	100	3.1.3.2	فوسفاتيز حامضي Acid phosphatase
				إنزيمات البكتيريا خارج الخلية[a] Extracellular bacterial enzymes
1.3[b]	500	130		ليبيز بسودموناس فليوريسيسنز Lipase *Pseudomonas fluorescens*
2.4	700	130		ليبيز نوع بسودموناس Lipase *Pseudomonas* sp.
2.6	30	70		ليبيز الكاليجينيز فيسكولاكتس Lipase *Alcaligenes viscolactis*
2.1	630	130		بروتيناز نوع بسودوموناس Proteinase *Pseudomonas fluorescens*

بروتيناز نوع بسودوموناس Proteinase *Pseudomonas* sp.		130	160	1.9
بروتيناز أكروموباكتير Proeteinase *Achromobacter* sp.		130	510	2.1
Chymosin كيموزين	3.4.23.4	60	25	70

a النتائج يمكن أن تختلف بين السلالات ويمكن أيضاً أن تعتمد على الظروف أثناء النمو .

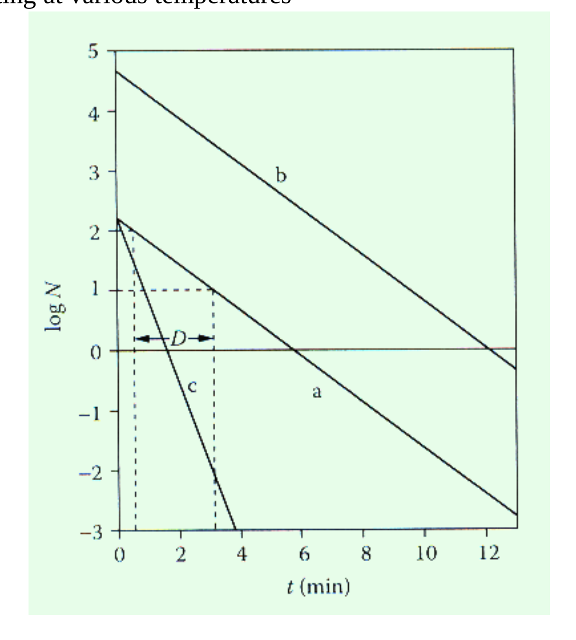
b صالحة فقط عبر مدى حراري ضيق .

a The results may vary widely among strains and may also depend on the conditions during growth.
b Valid only over a narrow temperature range.



شكل 13.7 حرارة التنشيط لبعض الإنزيمات البكتيرية في اللبن (A) بروتينيز بكتيريا بسيدوموناس فليوريسينز ، التسخين لمدة 30 دقيقة عند درجة الحرارة الموضحة ، (B) إنزيم الليبيز لنفس البكتيريا أثناء التسخين عند درجتي حرارة مختلفتين ، (C) بروتينيز بكتيريا أكروموباكتر أثناء التسخين لدرجات حرارة مختلفة

Figure 7.13 Heat inactivation (expressed as residual activity) of some bacterial enzymes in milk. (A) Proteinase of a *Pseudomonos fluorescens*; heating for 30 min at the temperature indicated. (B) Lipase of the same bacterium during heating at two different temperatures. (C) Proteinase of an *Achromobacter* sp. During heating at various temperatures



شكل 14.7 أمثلة لانخفاض العد البكتيري N (في مليلتر$^{-1}$) كدالة الوقت t أثناء تسخين سائل يحتوي على نوع واحد من البكتيريا ، للمنحنى (b) العد الابتدائي No يكون أعلى من المنحنى (a) للمنحنى (c) درجة حرارة التسخين تكون أعلى

Figure 7.13 Heat inactivation (expressed as residual activity) of some bacterial enzymes in milk. (A) Proteinase of a *Pseudomonas fluorescens*; heating for 30 min at the temperature indicated. (B) Lipase of the same bacterium during heating at two different temperatures. (C) Proteinase of an *Achromobacter* sp. During heating at various temperatures

طبيعياً ، إنزيم البروتينيز يمكن أيضاً أن يحلل البروتينات الأخرى إذا كانت في الحالة غير المطلوبة unfolded . ولعل هذا هو التفسير للشكل غير المتوقع للمنحنيات في شكل 13.7 B أي عند درجات حرارة منخفضة نسبياً ، يمكن للبروتينيز المتوطن الذي لم تحدث له عملية دنترة أن يهاجم الليبيز المدنتر ، في التطبيق العملي المدى الذي يحدث فيه التثبيط منخفض الحرارة سوف يعتمد بصورة كبيرة على معدلات التسخين والتبريد المستخدمة . وتكون العلاقة مختلفة في شكل 13.7 C ، من المحتمل حدوث ثلاثة تفاعلات ابتدائية ، التفاعلان الأولان يكونان تفاعلان عكسيين .

1. A ⇄ B ثوابت المعدل تكون k_{-1}, k_1
2. B ⇄ C ثوابت المعدل تكون k_{-2}, k_2
3. C ⇄ D ثابت معدل التفاعل يكون k_3

حيث A هي الحالة الطبيعية لجزيء الإنزيم ، B هي الحالة غير المطوية و C هي الحالة المتوسطة Intermediate state . الحالة D فقط هي غير عكسية . k_1 نموذجية للدنترة ، k_2 تكون أساسية فوق درجة حرارة 80 درجة مئوية ، و k_3 فوق حوالي 95 درجة مئوية (شكل c 13.7) k_{-1} غالباً ما تكون كبيرة . قوة k_{-2} تكون ذات أهمية قليلة ، إلا إذا كانت صغيرة جداً . في الحالة الأخيرة ، يمكن أن يظهر الإنزيم إعادة تنشيط منخفضة بعد التبريد . يمكن أن يبدي إنزيم الفوسفاتيز القاعدي وكذلك اللاكتوبيروكسيديز إعادة تنشيط قليلة بعد حفظ اللبن المسخن بارداً لعدة أيام .

وفي الختام ، عندما نرسم لوغاريتم النشاط مع الوقت ، فإن الخط المستقيم لا يتم الحصول عليه بصورة دائمة ، لأنه من المحتمل أن يوجد الإنزيم في صورتين أو أكثر والتي غالباً ما يكون سببها متغيرات جينية ، إن هذه المشابهات الإنزيمية isozymes يمكن أن تظهر تثبيطاً حركياً مختلفاً Different inactivation kinetics . وسوف تناقش بعض الإنزيمات الآن وباختصار .

ينحرف ليبيزليبوبروتينات اللبن (البروتينات الدهنية Lipoprotein lipase) (انظر 34.1.1.3) بعض الشيء عن المعتاد ، لأن الـ Q_{10} للتثبيط الحراري تكون صغيرة ، أي حوالي 10 عند 75 درجة مئوية $(k10 = z)$.

يكون البلازمين plasmin (انظر 7.21.4.3) مقاوماً للحرارة كما يظهر في شكل 9.7 B فوق درجة 110 مئوية ، يزداد معدل التثبيط قليلاً فقط بزيادة درجة الحرارة . حتى عند درجة 140 مئوية ، يجب تسخين اللبن لمدة 15 ثانية على الأقل لكي نمنع حدوث التحلل البروتيني أثناء التخزين . يكون تثبيط البلازمين راجعاً لمجموعة معقدة من التفاعلات ، يبدأ عدم ثني الإنزيم

من 50 إلى 55 درجة مئوية ، ولكن يكون عكسياً ، يؤدي التفاعل إلى تفاعلات لا عكسية بتكوين روابط كبريتية مزدوجة $-S-S-$ مع البلازمين . مصادر لمجموعات الكبريت المهدرج (السلفوهيدريل) $-SH$ يمكن أن تكون (1) مجموعات معرضة عند عدم ثني جزيئات البلازمين نفسها ، حيث أن الجزيئات غير المطوية يمكن أن تتفاعل مع بعضها (تسبب التجمع) بالرغم من أن تركيزها يكون صغيراً جداً ، وعلى ذلك يكون التثبيط بطيئاً للغاية (2) السيستين الحر ، بالرغم من أن تركيزه في اللبن يكون قليلاً جداً (3) البيتا-لاكتوجلوبيلين المدنتر ، والذي يتكون عند معدل فوق 75 درجة مئوية (شكل 9.7) إلا أن وجود الكازين يخفض كثيراً معدل تثبيط الكازين ، نتيجة احتمال تكون الروابط الكبريتيدية المزدوجة $-S-S-$ بين البيتا-لاكتوجلوبيلين والكابا-كازين مسببة انخفاضاً في كمية مجموعات $-SH$. إن تعقيداً آخر هو وجود البلازمينوجين Plasminogen والذي هو أيضاً مقاوم للحرارة ، والذي يمكن أن يتحول ببطء إلى بلازمين بواسطة إنزيم يروكينيز Urokinase منشط للبلازمين . يحتوي اللبن أيضاً على مثبط لليروكينيز والمثبط يحتمل أن يثبط بواسطة البسترة المنخفضة . وعلى أي حال تؤدي البسترة المنخفضة إلى زيادة نشاط البلازمين (انظر أيضاً تحت فصل 5.2.5.2) . الليبيز البكتيري Bacterial lipases خاصة الليبيز المفرز في اللبن بواسطة بعض البكتيريا العصوية سالبة الجرام ، يمكن أن تكون مقاومة للحرارة (جدول 3.7) .

يمكن أيضاً أن يكون البروتينيز البكتيري Bacterial proteinases خاصة البروتينيز المفرز بواسطة بكتيريا عصوية سالبة الجرام ، مقاوماً للحرارة (جدول 3.7) . وغالباً ما يوجد تفاعل مثبط واحد له Q_{10} صغيرة حوالي 2 ولكن في الحالات الأخرى يمكن التعرف على تفاعلين (انظر شكل 13.7 C) .

وكنتيجة للتثبيط غير الكامل لليبيزات ، تحلل الدهن يمكن أن يسبب نكهة تزنخ Rancid flavor . بروتينيز اللبن المتبقي يهاجم $B-$ و $\alpha_{s2}-$ كازين ، ونتيجة لذلك يمكن أن تتكون نكهة مرة Bitter flavor ، ويمكن أن يصبح اللبن المنزوع الدسم إلى حد ما شفافاً ،

يهاجم البروتينيز البكتيري المتبقي الكابا-كازين ونتيجة لذلك تتكون نكهة مرة وتكوين الهلام وتكوين الشرش .

الاحتياط الوحيد المتوافر لتجنب فعل إنزيمات اللبن هو معاملة حرارية ملائمة ، يكون تثبيط أغلب الإنزيمات البكتيرية التي تم ذكرها غير كافٍ بواسطة المعاملة الحرارية لمقاومتها الكبيرة للحرارة ، وعلى ذلك فالبديل الوحيد هو منع النمو البكتيري المتورط في ذلك .

4.3.7 علم البكتيريا الحراري *Thermobacteriology*

تم دراسة معدلات القتل ، أو التثبيط غير العكسي للبكتيريا وكائنات حية دقيقة أخرى أثناء المعاملة الحرارية ، باستفاضة منذ وقت طويل . تم تطبيق معالجة بسيطة تعتمد على تفاعلات الدرجة الأولى ، كما هو موجود لكثير من تفاعلات دنترة البروتين بصفة عامة ، إلا أن عدداً كبيراً من الاستثناءات تمت ملاحظتها ، إن القواعد المؤسسة لعلم البكتيريا الحرارية تم انتقادها بشدة . سوف يتم مناقشة الجوانب التقليدية أولاً ، ثم بعد ذلك التعقيدات التي تُخضع لتطبيق مناشط ديناميكية شديدة .

السبب الرئيسي لحيود استجابة البكتيريا للمعاملة الحرارية هي أنها مخلوقات حية ، وهذا يكون له نتائج عدة (انظر فصل 1.5) وهذه تظهر تغيرات إحصائية في الخواص شاملة المقاومة للحرارة . لا يكون تثبيطها الحراري عملية في خطوة واحدة ، مثل عدم الثني في البروتين الكروي ، ولكن يمكن حدوثه بالتدريج ، يمكن أن تطوع البكتيريا أيضاً وظائف أعضائها للظروف السائدة المحيطة بها ، في حالة البكتيريا المكونة للجراثيم يمكن أن يكون تكوين وإنبات الجراثيم مؤثراً .

1.4.3.7 الجوانب التقليدية *The Conventional Approach*

عندما يؤخذ في الاعتبار قتل البكتيريا أو جراثيمها ، المعادلة 2.7 عادة ما تكتب هكذا :

$$\log N = \log No - \frac{1}{D} \qquad (7.14)$$

حيث N هي العد البكتيري ، عادة عدد الوحدات المكونة لمستعمرة (CFU) لكل مليلتر وهذا تم توضيحه في شكل 14.7 والذي يطبق على الحالة البسيطة لنوع بكتيري واحد موجود ، وعندما نأخذ في الاعتبار المنحنى (a) ، نستطيع أن نجد في الشكل أن $D = 2.5$ دقيقة . سوف يقلل التسخين لذلك الوقت N إلى 10% من العدد في البداية No . التسخين لـ $D2$ ينقصه إلى 1% لمدة $D3$ ينقصه إلى 0.1% وهكذا . في المنحنى (a) 5.7 دقائق ستؤدي إلى نقص العدد إلى كائن واحد لكل ميليلتر وطبعاً مدد أطول نحتاجها لإنجاز نفس العد إذا كانت No أكبر ، مثل 12.1 دقيقة للمنحنى (b) . نحتاج عند درجات حرارة أعلى لوقت أقصر ، فمثلاً للمنحنى (c) حيث $D = 45$ ثانية ، إذا رغبنا في خفض أكبر للعد البكتيري ، فمثلاً لأن العد الابتدائي يكون أكبر ، فإنه يكون من المفضل أن تزيد درجات التسخين لحد ما عن زيادة وقت التسخين ، هذا تمت مناقشته مبكراً بالنسبة لشكل 10.7 .

تختلف الكائنات الدقيقة الحية كثيراً في مقاومتها للحرارة ، إن المقاييس المميزة المعطاة عادة هي D , Z (عدد درجات الحرارة [k] التي بواسطتها يجب رفع درجة التسخين لكي نخفض D بعامل قدره 10 . وتوضح أمثلة في جدول 4.7 أن كلا هذين المقياسين يختلفان بصورة واسعة عند درجة معينة ، وخاصة D . في وضع نموذج لعمليات التعقيم يقترح أن $z = 10k$ في جميع حالات قتل الجراثيم ، ويكون هذا الاقتراح صحيحاً في كل الحالات ، ويظهر أن هناك تغيرات معنوية داخل النوع الواحد . وبمعنى آخر فإن سلالات مختلفة لنوع واحد يمكن أن تكون مقاومتها للتسخين مختلفة . بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أن تؤثر الظروف أثناء التسخين على D , Z فمثلاً قارن (في جدول 4.7) اللبن والشرش أو نفس السائل عند قيم أس هيدروجيني مختلفة . القوة الأيونية ، الأس الهيدروجيني ، الضغط

الأسموزي ، جهد الأكسدة-الاختزال للوسط ، وأيضاً وجود تركيز مواد مذابة معينة ، كلها يمكن أن تؤثر على قيم Z , D ، تفسير ذلك عادة ما يكون غير مؤكد في أغلب الأحوال ، تزداد مقاومة كائن حي للحرارة بازدياد محتوى الوسط من المادة الجافة ، حيث أن اعتماد معدل التثبيط على درجة الحرارة يقل ، أمثلة تم ضربها في جدول 5.7 والتي توضح أن هذه التأثيرات يمكن أن تكون كبيرة جداً .

جدول 4.7

Table 7.4 Examples of Thermal Inactivation Data of Bacteria: Conventional Approach

Z (K)	*D* (min)	Temperature (°C)	Heating Medium	Microorganisms
				Psychrotrophs
10-12	7-9	49	Milk	*Pseudomonas fragi*
10-12	8-10	49	Skim milk	*Pseudomonas fragi*
	32	49	Whey, pH 6.6	*Pseudomonas fragi*
10.9	4-6	49	Whey, pH 4.6	*Pseudomonas fragi*
4.9-7.9	1.5-2.5	49	Milk	*Pseudomonas viscose*
	3.9	49	Whey, pH 6.6	*Pseudomonas viscose*
	0.5	49	Whey, pH 4.6	*Pseudomonas viscose*
7.5	3.2	60	Buffer	*Pseudomonas fluorescens*
6.8	0.02-0.05	72	Milk	*Listeria monocytogenes*
				Other non-spore-forming bacteria
4.0-5.2	0.06-0.1	63	Skim milk	*Salmonella* (6 spp.)
6-8	0.7-1.0	55	Skim milk	*Campylobacter jejuni*
	3.5	63	Skim milk	*Enterococcus faecalis*
	10.3	63	Skim milk	*Enterococcus faecium*
	7.5	63	Skim milk	*Enterococcus durans*
	2.6	63	Skim milk	*Enterococcus bovis*
4.6	0.13	63	Skim milk	*Escherichia coli*
6.7	0.26	63	Whey, pH 4.6	*Escherichia coli*

	2.6	63	Skim milk	*Streptococcus* sp., group D
7.3	0.32	63	Whey, pH 4.6	*Lactococcus lactis* ssp. *Lactis*
6.7	0.036	63	Whey, pH 4.6	*Lactococcus lactis* ssp. *Cremoris*
	0.5-2.0	65	Milk	*Lactobacillus* spp.
	2.0	65	Skim milk	*Microbacterium flavum*
	2.5-7.5	84	Milk	*Microbacterium lacticum*
	0.1	64	Milk	*Mycobacterium tuberculosis* ssp. *Bovis*
	0.06	70	Milk	*Mycobacterium avium* ssp. *Paratube3rculosis*
4.3	1.6	58	Milk	*Yersinia enterocolitica*
				Spore-forming bacteria
9.4-9.7	0.04	121	Milk	*Bacillus cereus*, spores
6.6	0.013-0.016	70	Water or 2 M sucrose	*Bacillus cereus*, vegetative
6.5	0.35	70	Water	*Bacillus cereus*, germinating spore
	39	70	2 M sucrose	*Bacillus cereus*, germinating spore
10.7	0.03-0.5	121	Milk	*Bacillus subtilis*, spore
5.0-5.2	1.0-5.6	55	Water	*Bacillus subtillis*, vegetative
4.6	0.6-4	121	Milk	*Bacillus coagulans*, spore
9-11	2.5-4	121	Skim milk	*Bacillus starothermophilus*, spore
				Spore-forming bacteria (Continued)
13-14	2-3.5	121	Skim milk	*Bacillus sporothermodurans*, spore
	1.7	121	Milk, pH 7.0	*Clostridium sporogenes*, spore
	0.2	121	Milk, pH 7.0	*Clostridium botulinum*, spore
	0.5	110	Milk	*Clostridium tyobutyricum*, spore
			Water	*Clostridium perfringens*, spore
				Other microorganisms
3.5-4	2	55	Buffer, pH 4.5	*Aspergillus* sp. Conidia
6-8	2	75	Buffer, pH 4.5	*Aspergillus* sp. Ascospores
5.0	1	60	Buffer	*Saccharomyces cerevisiae*, vegetative
5.0	10	60	Buffer	*Saccharomyces cerevisiae*, ascospores
10-12	0.2	63	Milk	Foot-and-mouth disease virus

جدول 5.7

Table 7.5 Influence of the Dry-Matter Content (Skim Milk, Evaporated Skim Milk, and Skim Milk Powder) on the Killing of Some Bacteria, as Caused by Heating

Z (K)	*D* (s)	Dry Matter (%)	Temperature (°C)	Bacterium
5.2	70	9	70	*Staphylococcus* sp.
11.6	1800	93	70	
4.0	56	9	50	*Serratia marcescens*
13.0	1090	93	50	
4.6	8	10	63	*Escherichia coli*
4.9	15	20	63	
6.3	75	30	63	
7.9	200	40	63	

في الأساس ، المعادلات التي نوقشت والبيانات التي أعطيت لـــ D , Z يجب أن تسمح بحســاب المعاملة (مجموعة مؤتلفة من وقت التســخين ودرجة الحرارة) المطلوبة لخفض عدد بكتيريا معينة (أو جراثيمها) لمستوى يمكن اعتباره مقبولاً . يجب إتباع الشروط التالية :

1. يجب أن تطبق الحســابات على نوع واحد Single species . تحســب الطريقة العد الكلي Total count لأن قيم D , Z تختلف كثيراً بين البكتيريا المختلفة مؤدية إلى رســم منحنى للوغاريتم N ضد t ولوغاريتم t' ضد $1/T$.
2. العد الابتدائي No يجب أن يعرف أو يجب أن يحسب بدقة كافية .
3. يجب أن يكون وقت البقـاء الفعلي The effective holding time في المتبـادل الحراري المســتعمل معروفاً . انظر شــكل 12.7 والمناقشــة التابعة له . كما هو موضــح t_{eff} يمكن أن تعتمد على قيمة Z للبكتيريا .
4. قيمة D يجب أن تعرف للوسـط الذي تحدث فيه المعاملة الحرارية والسـلالة أو السـلالات التي تمثل البكتيريا الموجودة في الســائل أي اللبن أو منتج اللبن . لكي تؤســس معدلات موت

حراري لسلالة بكتيرية بدقة تامة ، يكون مطلوباً عداً ابتدائياً عالياً نسبياً ، ولهذه النهاية البكتيريا المعزولة يجب أن تنمو بأعداد كبيرة في بيئة زرع مناسبة . ويجب أن نتذكر أن البكتيريا النامية في المعمل قد أقلمت وظائف أعضائها على الظروف الموجودة أثناء النمو ، والتي يمكن أن تختلف عن الظروف في المنتج (طور النمو ، المكونات الكيميائية ... الخ) وعلى ذلك فيجب السماح للبكتيريا بأن تتأقلم للظروف السائدة في التطبيق قبل حساب قيم D . وهذه المشاكل تكون أكبر لجراثيم البكتيريا .

5. تطبق نفس الاعتبارات عند حساب قيم Z ، بالإضافة إلى ذلك ، يجب أن تكون Z ثابتة أثناء المدى الحراري المأخوذ في الاعتبار .
6. يجب أن تتبع الوفيات حركية معادلات الدرجة الأولى .

الشروط 5 و 6 خاصة لا تنطبق على بكتيريا عديدة ، كما سوف يناقش في تحت الفصول التالية .

2.4.3.7 تعقيدات *Complications*

الافتراضات التالية لتطبيق حركية معادلات الدرجة الأولى لمنحنيات الموت الحراري ، هي أن احتمال موت البكتيريا في الثانية القادمة (أو في فترة صغيرة من الزمن) تكون ثابتة عند درجة حرارة ثابتة . ويعني هذا عملياً أن الاحتمالية تكون ثابتة أثناء وقت البقاء . وهذا معبر عنه في المعادلة 1.7 حيث تتبع انخفاض أسي للعد البكتيري ، المعادلة 2.7 . وتكون الانحرافات في الحقيقة شائعة . يمكن أن تزداد احتمالية الموت لكل فترة وحدة وقت في طريق المعاملة الحرارية (k تزداد) أو يمكن أن تنقص ، في هذه الحالات النقص في عدد البكتيريا الحية مع الوقت ليس أُسياً .

لكي نحسن وصف منحنيات الموت الحراري ، نقترح معادلة ويبيل Weibull equation وتقرأ :

$$N = No\exp-(t/\alpha)^{B} \qquad \text{(a 15.7)}$$

من :

$$\log(N/No) = -0.434(t/\alpha)^B \qquad (b\ 15.7)$$

هنا α هو وقت مميز ، الأس $B > 0$ إذا كانت B تساوي واحد ، يكون لدينا معادلة من الدرجة الأولى ، حيث $\alpha = 1/k = D0.434$ إذا كانت $B \neq 1$ العلاقات تكون مختلفة . نقص الوقت العشري يمكن أن يعرف ، إلا أن الوقت t_n لكي ننجز نقصاناً عشرياً n لا يمكن الحصول عليها بواسطة $D.n$ ولكن بواسطة :

$$t_n = \alpha(2.3n)^{\frac{1}{B}} \qquad (16.7)$$

شكل (a 15.7) يوضح كيف يعتمد التثبيط على قيم α, β ، يحدد المؤشر الأخير شكل المنحنى لـ $B > 1$ ، المنحنيات الخطية إلى أعلى والتي تعني أن التثبيط من المحتمل يقل- أو أن المقاومة الحرارية للبكتيريا تزداد- أثناء المعاملة الحرارية ، عندما تكون $\beta > 1$ المنحنيات الخطية إلى أسفل ، تقتضي أن المقاومة تزداد . عندما تكون $t/\alpha = 1$ المنحنيات تتقاطع عند $\log(N/No) = -0.434$.

بعض أسباب هامة للانحراف عن معادلات الدرجة الأولي هي :

1. بكتيريا من نوع واحد أو حتى سلالة واحدة ، يمكن أن توضح اختلافات في الحساسية الحرارية Heat sensitivity وهذا يعني أن البكتيريا الأكثر حساسية للحرارة سوف تموت أسرع من البكتيريا الأقل حساسية . وهذا سوف ينتج عنه $B > 1$ (انحناء إلى أعلى) .
2. البكتيريا يمكن إلى حد ما أن تؤقلم فسيولوجيتها لظروف الضغط عند درجة حرارة عالية نسبياً للنمو ، يمكن أن ينتج عن تأقلم الكائن نقص في حساسيته للحرارة ، إذن $\beta > 1$ ولأن التأقلم يأخذ وقته ، هذه النتائج يمكن أن نتوقعها عند درجات حرارة حيث تثبيط الحرارة يكون بطيئاً .
3. أثناء المعاملة الحرارية ، يمكن أن تصبح البكتيريا "تالفة حرارياً heat-damaged" أي تفقد حيويتها بدون موت فوري . ونتيجة لتراكم التلف تزداد حساسيتها للحرارة . وهذا يؤدي إلى

$B > 1$ وخاصة عند درجات حرارة عالية . كما يلاحظ غالباً في التطبيق . سوف تؤدي توليفة الأسباب 2 و 3 إلى تغيرات في شكل منحنيات التثبيط عندما تكون درجات التسخين مختلفة. فمثلاً كما هو موضح في شكل 15.7 b . يمكن أن يكون شكل المنحنيات الناتجة شبيهاً بحرف c ثم لا يمكن أن يوصف بواسطة معادلة ويبيل Weibull equation ؛ معادلة لها مؤشرات ثلاثة سوف نحتاجها .

4. بكتيريا عديدة توجد في تجمعات : ستافيلوكوكي Staphylococci ، ستريبتوكوكي Streptococci ، ستريبتوباسيللي Streptobacilli وغيرها بالإضافة إلى ذلك يمكن أن توجد البكتيريا في تجمعات في جزيئات تسمى Dirt particles وهذا يقتضي أن عدداً CFU يكون أصغر من عدد البكتيريا . واقعياً $CFU = NINC$ حيث Nc هي متوسط عدد البكتيريا في الكتلة الواحدة ، عندما يكون الوسط الذي تعيش فيه البكتيريا عند درجة حرارة عندها تموت البكتيريا ، يجب أن تموت جميع البكتيريا في كتلة Clump قبل ألا تكون CFU مرة أخرى ، وهذا يعني أنها تأخذ وقتاً أول لكي تنقص عدد الكتل عن عدد البكتيريا التي لا توجد في كتل Non-clumped bacteria خاصة إذا كانت N_c كبيرة ، وقيمها أعلى من 10^4 . يمكن أن يكون الاختلاف معتبراً . يعد بعض الوقت الكتل الصغيرة فقط والبكتيريا الوحيدة الحية تترك والتي يكون تثبيطها أسرع نسبياً . من ناحية المبدأ ، قيمة B تكون أكبر من 1 ولكن بعد مدة انحدار المنحنى يمكن أن ينخفض ثانية . يمكن أيضاً أن تتأثر النتائج عند تحطم الكتل أو التجمع في كتل صغيرة تبعاً للقوى التي يحدثها السائل المناسب في المتبادل الحراري .

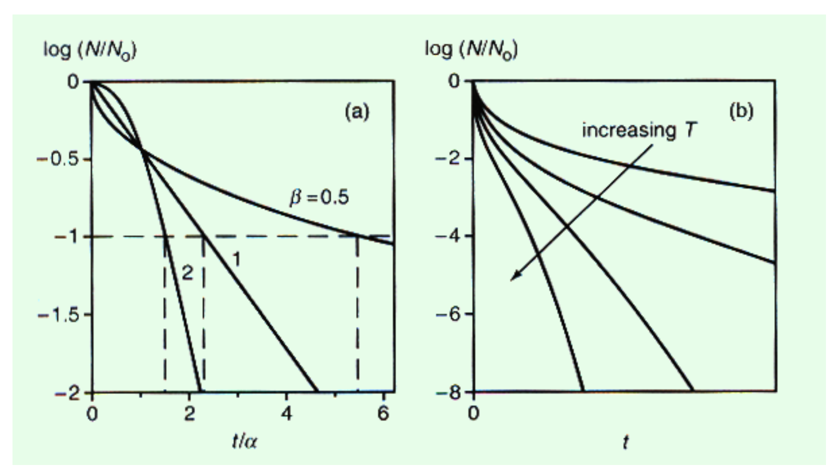
5. من البكتيريا التي تكون جراثيم ، كلاً من الخلايا الخضرية والجراثيم تكون موجودة . إذا سخن المنتج عند درجة حرارة يكون فيها معدل التثبيط بطيئاً ، من الملاحظ أن معدل التثبيط يكون عالياً في البداية عندما تموت الخلايا الخضرية قليلة الثبات الحراري ،

ثم بعـد ذلـك تكون أكثر بطئـاً . وهـذا يعني انحنـاء قويـاً إلى أعلى لمنحنى الموت الحراري . يكون الوضـــع أكثر تعقيـداً لأن المعـاملـة الحراريـة عنـد درجـات حرارة معتـدلـة تميـل لإحـداث إنبـات للجراثيم . فمثلاً في اللبن الملوث ببكتيريا بـاســيللس ســيريس *Bacillus* cereus المســخنـة لمـدة 30 دقيقـة عنـد 70 درجـة مئويـة، الجراثيم فقط هي التي تعيش (انظر جـدول 4.7) ولكن الجراثيم تســتنبـت بســرعـة . إذا برد اللبن بعـد التســخين تم ســخن ثانية مباشــرة لمدة 30 دقيقة عند 70 درجة مئوية ، فإن العد البكتيري ينقص بواحد أو 2 عَقْد ، وهذا يجب أن يكون راجعاً إلى إحداث إنبات الجراثيم وقتل الخلايا الخضرية الناتجة .

6. أثناء التســخين الممتد عند درجات حرارة التعقيم (ولنقل 120 درجة مئوية) فإن مكونات السـائل قد تتغير ، يتكون حامض الفورميك أو نتيجة لفقد الأكسجين (اعتماداً على تصـميم المبادل الحراري) وهذا إما يؤدي إلى زيادة أو نقص حساسية البكتيريا للحرارة .

ويجب أن نلاحظ أن هذه الأســباب التي تحيد عن حركيات تفاعلات الدرجة الأولى تختلف عما نقابله في تثبيط الإنزيمات .

وقـد ســجلـت بعض النتـائج لبكتيريـا تنمو في اللبن أو المنتجـات اللبنيـة في جـدول 6.7 ، نتائج قليلة عن ســوائل أخرى تم تضــمينهـا لكي نوضــح التأثيرات المحتملة للوســط وحرارة التســخين . يلاحظ أن الحيود عن حركيـات تفـاعلات الـدرجـة الأولى يمكن أن تكون كبيرة جـداً ، B تكون أكبر كثيراً أو أصــغر كثيراً عن واحـد . لبعض الكـائنـات الحيـة المـدروســة مثـل *P. mephitica* و *S.* aureus يكون الانحراف كبيراً والـذي يعطي قيماً مضــللة لــــ D , Z ويلاحظ أيضـاً أن قيم β,α يمكن أن تختلف كثيراً بين ســلالات النوع الواحد .



شـكل 15.7 منحنيات الموت الحراري الافتراضـي لبكتيريا (a) النتائج طبقاً لمعادلة ويبيل Weibull equation لثلاث قيم لــــ B ، الخطوط المنقطة تدل على نقص عشـري (b) نتائج تقريبية يمكن الحصـول عليها في بعض حالات عند درجات مختلفة

Figure 7.15 Hypothetical thermal death curves for bacteria. (a) Results according to the Weibull equation, for 3 values of β (indicated); dotted lines relate to one decimal tures. [Adapted from van Boekel (a), and Peleg (b); see Suggested Literature]

نتائج عديدة تم الحصول عليها الآن عن منحنيات الموت الحراري ، وخاصة عن الكائنات الحية غير المكونة للجراثيم (شـــاملة بعض الخمائر) في ســـوائل غير لبنية . في أغلب الحالات قيم B تختلف معنوياً عن واحد ، $1 < B$ تكون أكثر شيوعاً عن $1 > B$. في بعض الحالات قيمة B تعتمد معنوياً على درجة الحرارة . بالإضـــافة إلى ذلك تأخذ منحنيات الموت الحراري ذات الشـــكل C (القطع الناقص sigmoid) أشكالاً مختلفة تمت مشاهدتها .

أخيراً ، يجب أن نلاحظ أن الحيود عن وقت التسـخين الفعال كما هو موضـح في المعادلة 13.7 يكون تاماً إذا كانت قيمة B لمنحنى الموت الحراري يختلف عن واحد ، وتحتاج في هذه الحالة إلى معادلة رياضية أكثر اتقاناً وتعقيداً .

جدول 6.7 تثبيط حراري لبعض البكتيريا

Table 7.6 Thermal Inactivation of Some Bacteria

β	α (أدنى) α (min)	درجة الحرارة T (°C)	وسط التسخين Heating Medium	Speies النوع
2.6	5.7	48	لبن الفرز Skim milk	بســـودوموناس فيســـكوزا[3] *Pseudomonas viscose*[3]
3.0	6.7	48	لبن الفرز Skim milk	بسودوموناس ميفيتيكا *P.mephitica*
1.1	79	49.5	البيض Egg	نوع بودوموناس *Pseudomonas* sp.
0.8	16	52.5		
0.5	1.3	56.8		
0.4	0.01	62.5	milk لبن	سلمونيلا إنتيريتيديس *Salmonella enteritides* W775
0.6	0.5	60	Milk لبن	ليستيريا مونوسيتوجينيز *Listeria monocytogenes*
0.6	0.03	55	محلول منظم Buffer	ستافيلوكوكيس ايريس *Staphylococcus aureus* S1
0.8	0.4	55	Whey شرش	
0.3	0.024	50	Milk لبن	ستافيلوكوكيس ايريس *Staphylococcus aureus* S6
0.3	0.009	55		
0.2	0.001	62.5		
1.7	0.65	105	Water ماء	جراثيم باسيليس سيريس Bacillus cereus spores

ملاحظة ، النتائج المتحصــل عليها باســتخدام معادلة Weibull (انظر معادلة 15.7) نتائج تقريبية تم الحصــول عليها من مصادر مختلفة .

Note: Data obtained by fitting to the Weibull equation (see Equation 7.15). Approximate results from various sources.

3.4.3.7 نتائج عملية *Practical Consequerce*

يجب أن يكون واضحاً من المناقشة السابقة أن التنبؤ بعدد البكتيريا الحية وجراثيمها يقابل بصعوبات كثيرة ، في حالات عديدة ، سوف يؤدي التقدير الاستقرائي لمنحنى الموت الحراري الخطي الظاهر إلى قيم منخفضة لـ N إلى أخطاء كبيرة وبالمثل لتطبيق قيم Z التي تم الحصول عليها عند درجات حرارة منخفضة . وفي الأساس سوف تعطي معادلة ويبيل Weibull equation نتائج أحسن ولكن من الصعب تقدير قيم β,α المطلوبة بدقة كافية . وبالتالي يميل المصنعون إلى البقاء في الجانب الآمن (انظر خلفه) وقد أوضحت الخبرة العلمية أن المعاملة الحرارية الشديدة غالباً ما تطبق والتي يمكن أن تحدد نوعية المنتج مثل القيمة الغذائية أو النكهة ، بالإضافة إلى ذلك ، هناك حتى الآن أنواع أو سلالات بكتيرية غير مُعرفة سوف يكون من المفيد أن نحدد بدقة المقاييس لتثبيطها الحراري واستخدام معادلات Weibull إذا كان ذلك ضرورياً .

في التطبيقات العملية ، غالباً ما نعمل مع أعداد ثابتة نوعاً ما لمعرفة تأثير التعقيم ويعرف كالتالي :

$$S = \log No - \log N \qquad (7.17)$$

والتي يتوقع أن تعطي نتائج معقولة باستخدام قيم Z , D الجدولية . والسبب في ذلك هو الأعداد الكبيرة لأغلب الجراثيم المقاومة للحرارة في اللبن الخام ، ولنقل 10^2 مليلتر$^{-1}$. نحن لا نريد أن يكون لدينا فرص كبيرة ولنقل واحد في 10^5 أي أن لتراً واحداً من اللبن المعقم يمكن أن يحتوي على نمو بكتيري وعلى ذلك يجب أن يكون متوسط أعداد الجراثيم الحية 10^{-5} أو 10^{-8} مليلتر$^{-1}$ وعلى ذلك $S = 10$ يجب توفرها .

يجب أيضاً أن نلاحظ أن N لا تصبح أبداً صفر وهناك أيضاً فرصة ولو صغيرة أن البكتيريا تعيش في حجم معين من اللبن . ومع ذلك يكون ذلك صعباً للغاية ، وإذا لم يكن مستحيلاً لتحقيق ذلك أي واحد في 10^5 زجاجة لبن تكون غير معقمة ، وعلى ذلك يمكن أن تجرى محاولة التعقيم على اللبن الذي يضاف إليه 10^7 جراثيم بكتيرية لكل ميليلتر ، وسوف يصبح

واضحاً مما سبق أن هذا يستخدم شيئاً إضافياً مجهولاً مشكوكاً فيه ، ولكي نبقى في الجانب الآمن ، يأخذ المصنعون لذلك $S = 11$ ، والتي هي من المحتمل أن تكون عالية ، لأن في أغلب الحالات تكون $B > 1$ عند درجات حرارة عالية ، وهذا يعني أن التقدير الاستقرائي الخطي لمنحنى الموت الحراري سوف يؤدي إلى تقدير مغالى فيه لإعداد الكائنات الحية . إذن رغم ذلك فإنه يمكن للفساد أن يحدث ، $S = 12$ يمكن أن تجرب ، يجب أن يتم التحكم بعناية في قتل كل المسببات المرضية المحتمل وجودها ، يقتل تعقيم اللبن كل المسببات المرضية ، البكتيريا المسببة لفساد اللبن المكونة للجراثيم والتي تكون أكثر مقاومة للحرارة عن أي كائنات ممرضة أخرى . تقتل البسترة المنخفضة أيضاً جميع المسببات المرضية التي يمكن أن تصبح ضارة ، ولكن الحدود تكون ضيقة وتكون الحاجة إلى مكافحة فعالة ولصيقة ضرورية .

4.7 طرق التسخين *Methods of Heating*

يمكن أن يتم التسخين (والتبريد انظر فصل 11) للسوائل بطرق عديدة مختلفة وبواسطة أنواع مختلفة من الآلات .

1.4.7 اعتبارات *Considerations*

يمكن أن تعرف متطلبات عملية التسخين كالتالي :

1. يجب أن تكون العلاقة بين الوقت ودرجة الحرارة المطلوبة قابلة للتطبيق العملي . وتستخدم أيضاً مثل هذه الجوانب للمراقبة وتوحيد التسخين . عند ترسيخ نتائج المعاملة (أي التأثير المعقم) . يجب أن تحسب الأوقات المطلوبة للتسخين والتبريد ، والانتشار في وقت البقاء ، (انظر تحت فصل 2.3.7) .
2. لا يجب حدوث تغيرات غير مرغوبة في المنتج مثل امتصاص مادة غريبة (مثل النحاس والسيلينيوم أو المواد البلاستيكية) ، فقد مكونات (مثل الماء) ، تمزيق أو اندماج كريات دهن ،

تجبن البروتين ... الخ ، بعض الأوقات يمكن أن يحدث في جهاز البسترة نمو زائد للبكتيريا المحبة للحرارة.

3. يجب أن تكون التكاليف منخفضة ، وهذا يعتمد على السعر ، مدى العمر ، تكاليف صيانة وتشغيل المعدات ، وبالخصوص كمية الطاقة المطلوبة للتسخين والتبريد ، والتي يمكن أن تظل منخفضة باستعادة الحرارة والبرد على التوالي (تحت فصل 3.4.7) بالإضافة إلى ذلك يلعب مدى الفساد والتعفن (انظر فصل 1.14) دوراً واضحاً . ويسبب الفساد السريع نقصاناً لانتقال الحرارة ومعدل التدفق ، ويزداد نتيجة لذلك استهلاك الطاقة معنوياً ، وهذا يستدعي تنظيف متكرر ويقلل ذلك من أوقات التشغيل .

4. يجب أن تتلاءم طريقة العمل مع الخطة ، فمثلاً يمكن أن يكون إدخال عمليات مثل الطرد المركزي أو التجنيس في خط العملية التصنيعية مرغوباً فيه ، كذلك احتمالات ضبط درجة حرارة التسخين ، ووقت التسخين والقدرة على الانسياب . بالإضافة إلى ذلك يجب أن يتم اختبار معدة معينة أو شكل تخطيطي للعملية التصنيعية على الأسس التالية :

1. التركيبة المطلوبة من الوقت ودرجة الحرارة ، تسخين لمدة 30 دقيقة عند 68 درجة مئوية يحتاج معدات تختلف عن تلك التي تحتاجها المعاملة الحرارية لمدة ثانية عند 145 درجة مئوية .

2. خواص السائل ، العامل الأساسي المستخدم هو معدل نقل الحرارة والذي يعتمد بدوره على التوصيل الحراري وخاصة على اللزوجة . المنتجات ذات اللزوجة العالية يكون لها تبادل حراري ضعيف (انظر فهرس 11.A) وبعيداً عن ذلك القابلية لتكون العفن والأوساخ تكون ذات أهمية .

3. الحاجة لمنع إعادة التلوث ، ولإنجاز خطوات عمليات التصنيع التالية وهذا يستخدم خاصة للتعبئة . يمكن أن يكون عامل آخر في الاختبار هو تأثير طريقة التسخين على محتوى الهواء، وخاصة محتوى الأكسجين في اللبن ، يؤثر محتوى الأكسجين على إمكانية نمو بكتيريا عديدة . فمثلاً تحتاج أنواع باسيلس بعض الأكسجين ، تبطئ بكتيريا

حامض اللاكتيك نموها عند ضـغط أكسـجيني عالٍ ، والذي يكون له أهمية خاصـة في تخمرات حامض اللاكتيك ، يمكن أن يؤثر محتوى الأكسـجين في منتجات اللبن المخمرة التي تحفظ لمدة طويلة على تكون نكهة غير مرغوبة بواسـطة الأكسـدة الذاتية للدهن ، تسـبب بسـترة الحوامل Holder pasteurization دنترة معنوية ، ولكن الهواء يمكن أن يعاد امتصاصه أثناء التبريد . لا يؤثر التسخين في مبادلات حرارية على محتوى الأكسجين ، إلا إذا تم توصيله بجهاز خاص لإعادة تشبع الهواء كما هو الحال في معاملة التسخين الفائق المباشر Direct UHT treatment (تحت فصل 2.4.7) . تعتمد مدى إعادة التهوية أثناء وجوده في أوعية التعقيم during autoclaving على نوع السداد المحكم المستخدم . فمثلاً تفقد الزجاجات المقفلة بسـدادة من الفلين أغلب الهواء ولكن الموجودة في علب أو ألواح لا تفقد شيئاً .

2.4.7 المعدات *Equipments*

يمكن أن تسـخن السـوائل وتبرد في صـورة دفعات ، في متبادل حراري أو في شـكل حزمة ، بالإضـافة إلى ذلك يمكن أن يجمع خلط مباشـر لبخار الماء مع متبادل حراري ، يمكن أن تعامل السـوائل ذات لزوجة عالية بالحرارة في مبادل حراري ذو سـطح خشـن كاشط .

عادة ، كانت البسترة على دفعات تستخدم لبسترة لبن الشرب . وهذا ما يسمى وعاء (حامل) البسـترة holder pasteurization أي لمدة 30 دقيقة عند 63 درجة مئوية ، لا تزال الطريقة تستخدم في تصنيع البادئات ، خفق القشدة ومنتجات أخرى على مدى ضيق . عادة ، الوعاء المسـتخدم يثبت مع مُقلب Agitator (آلة المزج أو الخلط) ، يمر البخار أو ماء سـاخن خلال جدار مزدوج Double jacket يتبعه ماء بارد . من مميزات حامل (وعاء) البسـترة ، السـهولة والمرونة وضبط الحرارة المرضي (تحدث تذبذبات قليلة في درجة الحرارة إلا إذا كان السائل ذا لزوجة عالية) . هناك عائق هو أن وقت التسخين والتبريد يكون أطول (وخاصة بالنسبة للأوعية الكبيرة) بالإضافة إلى ذلك استعادة الحرارة غير ممكنة واتصاله بالعمليات التصنيعية المستمرة لا يفي بالغرض بشكل مريح .

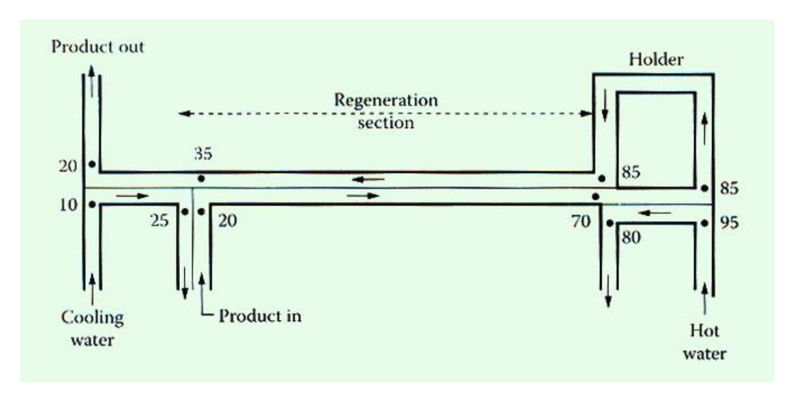
حديثاً المرور خلال السخانات أو المتبادلات الحرارية عادة ما يستخدم . الماء الساخن أو البخار المكثف يكون الوسط الحراري . وفي بعض الأحيان يستخدم التسخين البخاري تحت الفراغ Vacuum steam heating لتقليل الفرق في الحرارة مع السائل المراد تسخينه .

في المتبادلات الحرارية ذات الألواح سطح التسخين الكبير تجمع في فراغ محدود وعلى مساحة أرضية صغيرة . عامل التسخين والسائل القادم تكون موجودة في طبقات رقيقة وتفصل بجدار رفيع أي لوح A plate وبسبب سطح التسخين الكبير لكل وحدة حجم من السائل المراد تسخينه ، الفرق بين درجة حرارة عامل التسخين ودرجة حرارة السائل المسخن يمكن أن تكون صغيرة ، أي درجتان عندما يسخن اللبن من 65 إلى 75 درجة مئوية . وهذا يمكن أن يكون ميزة لبعض منتجات حساسة للحرارة . حيث أن القاذورات المتكونة على المتبادل الحراري تكون كبيرة للوح ذو الحرارة الأعلى . بالإضافة إلى ذلك يتم التسخين والتبريد بسرعة في المتبادل الحراري ذو الألواح .

ميزة أخرى هي أن استهلاك الطاقة (للتسخين والتبريد) يمكن أن يكون صغيراً نسبياً لأن الحرارة يمكن أن يعاد استخدامها ، القاعدة تم توضيحها في شكل 16.7 عندما يدخل اللبن المتبادل الحراري ، يسخن بواسطة اللبن الذي تم تسخينه ، وهذا بدوره يبرد في نفس الوقت بواسطة اللبن القادم . يسخن الأخير بدوره بواسطة الماء الساخن أو البخار ، ويمكن بعد ذلك أن ينساب خلال قسم الحامل لكي ينجز وقت تسخين كافٍ . بعد التبريد بواسطة اللبن القادم علاوة على ذلك يبرد بواسطة الماء البارد (أو عامل مبرد آخر) لاحظ أن السوائل تسخن وتبرد دائماً في انسياب مضاد وأن فرق درجة الحرارة بين الاثنين يظل ثابتاً .

يصمم المبادل الحراري المكون من ألواح من أقسام مختلفة تتصل في سلاسل ، شاملة قسم إعادة توليد ، قسم تسخين ، قسم حاوي ويمكن أن يكون أنبوبة ، وأقسام تبريد . كل قسم يتكون من أعداد كبيرة من الألواح متصلة جزئياً بالتوازي وجزئياً في سلاسل ، يوزع السائل في هذه الطريقة بصورة صحيحة بين الألواح ويصل إلى سرعة تكون عالية بصورة كافية لكي تقلل من تكوّن القاذورات والمواد الغريبة . شكل 17.7 يعطي مثالاً لرسم خطة تشييد ألواح مبادل حراري ومسار السوائل من خلاله . الألواح مكونة بطريقة تقلل كثيراً من

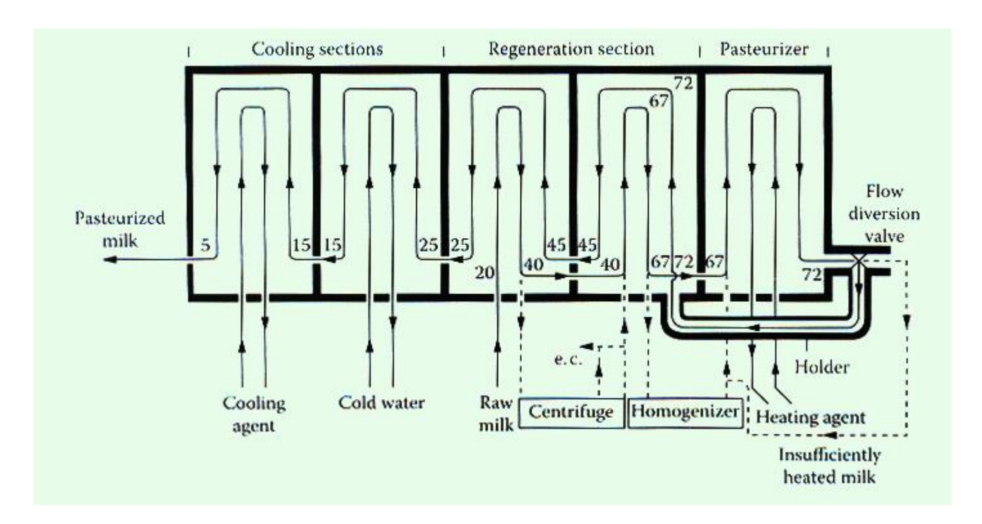
حدوث دوامات في الســـائل . ويســـرع هذا نقل الحرارة ويقلل من إمكانية تكون مواد غريبة على الألواح .



شكل 16.7 رسم تخطيطي مبسط للمبادل الحراري لتسخين وتبريد السوائل مبيناً أساس إعادة توليد الحرارة ، الأعداد تدل على درجة الحرارة المئوية وهي مجرد أمثلة ، الخطوط الســميكة تشــير إلى الجدران المعزولة ، الخطوط الرفيعة هي جدران تسمح بانتقال سريع للحرارة

Figure 7.16 Simplified scheme of a heat exchanger for heating and cooling of liquids, showing the principle of regeneration. The numbers indicate temperatures (°C) and are merely an example. Thick lines denote insulating walls; thin lines are walls allowing rapid heat transfer

المبادلات الحرارية ذات الألواح Plate heat exchangers لها بعض العيوب ، العيب الأســاســي هو أن يمكن أن يحدث التســرب ، على ســبيل المثال ، نتيجة لتآكل مطاط الحشــية بين لوحين ، إذا تســـرب اللبن غير المبســـتر في قســـم إعادة التوليد إلى داخل اللبن الذي قد مر بقســـم التســـخين Holder section ، يمكن أن يحدث التلوث بالبكتيريا غير المرغوب فيها ، ولكي نمنع ذلك فالضـغط على اللبن بعد قسـم التسـخين يجب أن يكون أعلى من الضـغط على اللبن قبل قسـم التسـخين ، وهذا يتطلب مضـخة إضـافية . مشـكلة أخرى هي أن الضـغط على اللبن لا يمكن أن يكون كبيراً جداً ، وهناك فقط مســـافة صـــغيرة جداً بين الألواح وهذا يعيق المعاملة الحرارية للســـوائل عالية اللزوجة لأننا يجب أن نلزم وجود ضـــغط عالٍ لكي نتغلب على



شكل 17.7 مثال لعملية بسترة في المبادل الحراري ذو الألواح . شكل مبسط c.e قشدة زائدة excess cream درجات حرارة اللبن بالدرجة المئوية

Figure 7.17 Example of a pasteurization process in a plate heat exchanger. Simplified diagram. e.c. = excess cream; temperatures of milk in °C

مقاومة الانسياب العالي . كذلك من الصعب أيضاً أن نسخن لبناً فوق 100 درجة مئوية لأن ذلك يحتاج ضغطاً عالياً لمنع الغليان (انظر شكل 18.7) . وأخيراً ا لسوائل التي تحتوي على جزيئات صغيرة ولنقل أقل من 50 ميكرومتر والسوائل التي تحتوي على جزيئات صغيرة ولنقل أقل من 50 ميكرومتر والسوائل التي تسبب تكون قاذورات ومواد غريبة heavy fouling تسبب مشاكل أيضاً .

في الجزء المتبقي من هذا التحت فصل سوف نناقش أولاً التعقيم Sterilization . عندما يحدث تسرب من عملية تصنيعية يجب أن نتخذ بعض الإجراءات الإضافية ، في المقام الأول يجب أن تكون المعدات نظيفة ومعقمة قبل إجراء العملية ، وهذا يخص المبادل الحراري وجميع المعدات مثل خطوط الأنابيب ، الصمامات ، صهاريج الاتزان وآلات التعبئة ... الخ . يجب أن تكون المعدات معقمة ، وهذا يحدث بتشغيلها بالماء والذي

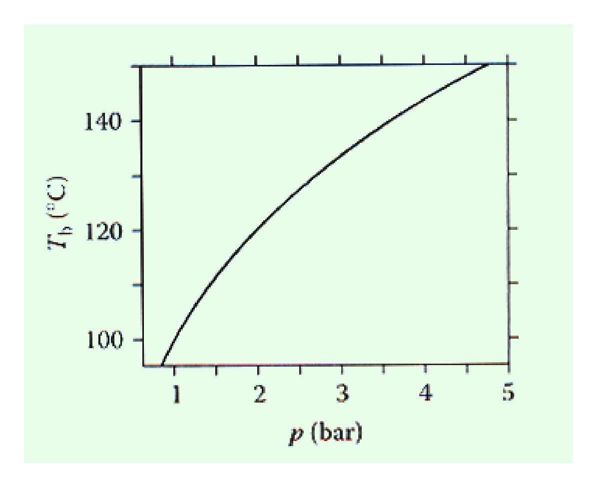
يستغرق حوالي نصف ساعة ، بالإضافة إلى ذلك يجب أن يصمم المصنع بطريقة تمنع حدوث إعادة التلوث ، وأخيراً يجب أن تكون مواد التغليف معقمة . انظر فصل 15 تحت "تعليب معقم" .

إن المبادلات الحرارية الأنبوبية Tubular heat Exchangers عادة ما يكون لها سطح حراري صغير لكل وحدة حجم من السائل المسخن عن المبادل الحراري ذو الألواح ، وعلى ذلك ، سوف يكون الاختلاف في درجة الحرارة بين عامل التسخين والسائل المناسب أكبر .
ولكي نحد من تكون القاذورات والمواد الغريبة ونسرع من النقل الحراري ، يجب استخدام معدلات تدفق عالية ، والتي تستلزم ضغوط عالية . ولكن هذا لا يسبب مشاكل ، لأن الأنابيب تكون أقوى من الألواح ، بعض المبادلات الحرارية الأنبوبية ليس لديها مطاط الحشية للقفل كما هو موجود في المبادلات الحرارية ذات الألواح . ولكن لها أنابيب متحدة المركز . يمكن أن تستخدم المبادلات الحرارية الأنبوبية للحصول على درجات حرارة عالية (مثل 150 درجة مئوية) وعلى ذلك فإنها تلاءم جيداً معاملة UHT غير المباشرة . مثل المبادلات الحرارية ذات الألواح فإن المبادلات الحرارية الأنبوبية من أن تبنى من أقسام إعادة توليد Regeneration وقسم للتسخين Heating ، وقسم بقاء المنتج Holding section وقسم للتبريد Cooling sections .

يمكن للبن في المبادلات الحرارية الحديثة ، أن ينساب عكسياً مع الماء خلال الأجهزة . يدور الماء بصورة مستمرة ويسخن بواسطة تسخين بخاري غير مباشر قبل أن يسخن اللبن مباشرة إلى درجة الحرارة القصوى المطلوبة . في هذه الأحوال ، معدلات الانسياب على كلا الجانبين من الجدار العازل لا تحتاج أن تكون واحدة ، ويقتضي ذلك أن الفرق في الحرارة لا يكون ثابتاً ، شكل 19.7 يعطي مثالاً . عادة يتم إنجاز فوق 90% من الاسترجاع الحراري ، هذه الطريقة لها مميزات فيما يتعلق بالتحكم في درجة الحرارة ، نقل حراري سريع وتوفير للطاقة .

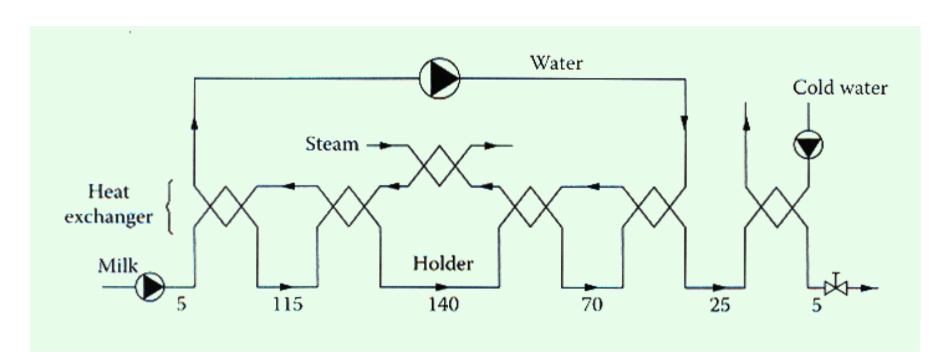
في المعاملة UHT بالتسخين المباشر ، ليس هناك جدار بين العامل المسخن والسائل المراد تسخينه ، ولكن العامل المسخن (بخار) يحقن داخل السائل أو بطريقة أخرى حوله . وعلى ذلك يمكن الحصول على تسخين في الحال إلى درجة الحرارة المطلوبة (من 80 إلى 145 درجة مئوية في 0.1 ثانية) ، على شريطة أن البخار يمكن تكثفه في الحال . ولكي يحدث هذا ، نحتاج إلى بخار ذي انتشار جيد وضغط معنوي في السائل (انظر شكل 18.7) . يصبح السائل الخارج مخففاً بالبخار المكثف ، وطبعاً لابد أن يكون البخار ذا نقاء عالٍ ، بعد أن نبقي السائل عند درجة الحرارة المطلوبة لمدة ثوانٍ قليلة ، يفرغ السائل في وعاء عند ضغط منخفض . وهنا يحدث تبخير فوري للماء ، مسبباً تبريداً سريعاً للغاية ، يجب أن تساوي كمية الماء التي تم تبخيرها كمية البخار التي تم امتصاصها .

يسبب التسخين بحقن البخار تمزيقاً لكريات الدهن وتجبناً لبعض البروتينات ، التجنيس عند ضغط عالٍ يعيد توزيع الجلطة أو الخثرة Coagulum . بدون تجنيس ، يعطي المنتج طعماً قابضاً غير متجانس أو إحساساً غير مريح في الفم وراسباً يميل إلى التكون عند التخزين.



شكل 18.7 درجة غليان (T_b) الماء كدالة على الضغط (P)

Figure 7.18 Boiling temperature (T_b) of water as a function of pressure (p)



شكل 19.7 مثال لشكل انسياب المبادل الحراري والذي فيه تم تسخين اللبن وتبريده بالماء فقط ، الأرقام تشير إلى درجة حرارة اللبن المئوية

Figure 7.19 Example of the flow diagram of a heat exchanger in which the milk is heated and cooled by water only. The numbers refer to the milk temperature in °C

قسم التسخين (حتى 80 درجة مئوية) والتي تسبق الحقن بالبخار ، وقسم التبريد والذي يكون متصلاً بعد التبريد المفاجئ "Flash cooling" (ابتداءً من 80 درجة مئوية) يمكن أن يكون معادلاً حرارياً ذا ألواح ، شكل 20.7 يوضح أن فترة بقاء اللبن تكون فوق 80 درجة مئوية يمكن أن تكون قصيرة للغاية ، وغير كافية لتثبيط البلازمين . وعلى ذلك فأوقات البقاء في الحامل Holder غالباً ما تمتد ، أو التسخين الذي يسبق الحقن بالبخار يكون بطيئاً ويمتد إلى درجات حرارة عالية . أيضاً في المعاملة UHT غير المباشرة ، تستخدم أوقات التسخين الطويلة أحياناً لكي نحصل على تثبيط كامل للبلازمين . بهذه الطريقة يكون الفرق بين البسترة العادية والـ UHT للبن قليلاً .

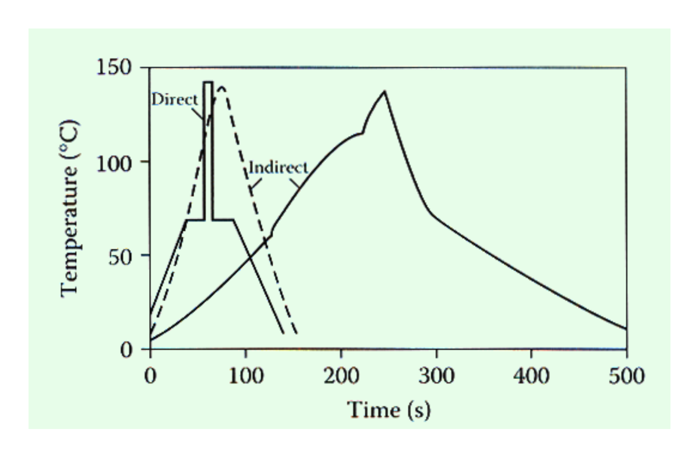
ما يسمى مفاعل فاك Vac reator وهو مشابه للسخان UHT المباشر ولكن في هذا الجهاز يسخن السائل لدرجات حرارة البسترة . والتفصيل المهم هو التبريد التبخيري في الفراغ ، بغرض إزالة مركبات النكهة المتطايرة . هذا الجهاز يستخدم لبسترة القشدة لتصنيع الزبدة . تشمل عيوب الجهاز الهدم المعتبر لكريات الدهن والتجديد الحراري المحدود . متغير لحقن البخار هو نوع من التشريب Infusion ، في هذه الطريقة يرش اللبن داخل بخار متدفق .

التعقيم الذاتي ***Autoclaving***

تسخين سائل في حاوي محكم القفل (نادراً أكبر من لتر) له ميزة في أنه يمكن منع إعادة التلوث بواسطة الكائنات الدقيقة للسائل المسخن في الحال ، وهذا هو السبب في أن هذه الطريقة من العمل تستخدم في التعقيم . إلا أنها تعاني من عيوب خطيرة .

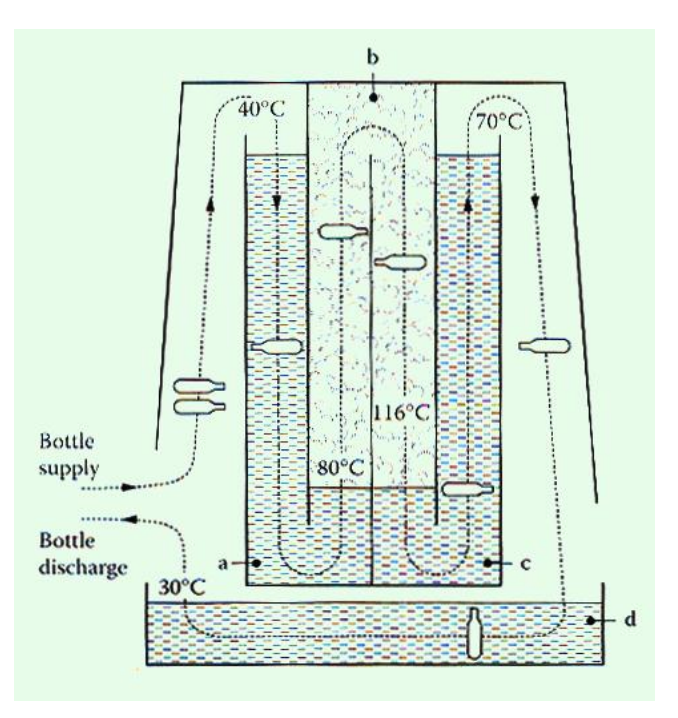
أوقات التسخين والتبريد الطويلة والاختلافات الكبيرة في درجات الحرارة بداخل العلبة الصفيح أو الزجاجة ، ينتج عنها تغيرات غير مرغوبة مثل اللون البني ونكهة اللبن المعقم ، خض أو قلب الأوعية الحاوية أثناء المعاملة الحرارية يمكن أن يحد من هذه التغيرات لأنه يسرع نقل الحرارة وينظم درجتها ، إلا أن عمليتها التقنية تكون صعبة لأن التسخين بالبخار يجب أن يحدث تحت الضغط على الأقل عندما يطبق التعقيم . التسخين لدرجة 120 مئوية يعادل معيار ضغط قدره واحد بار (انظر شكل 18.7) .

أسهل طريقة للتسخين هي على طريقة دفعات في معقم ذاتي مغلق ، ولكن ذلك يقتضي سعة منخفضة وتكاليف طاقة مرتفعة (استعادة الطاقة غير ممكنة) .



شكل 20.7 درجة حرارة اللبن ضد الوقت أثناء المعاملة الحرارية . مثال واحد يشير إلى التسخين UHT المباشر ومثالين إلى التسخين UHT غير المباشر

Figure 7.20 Temperature of milk vs. time during heat treatment. One example refers to direct and two examples to indirect UHT heating



شكل 21.7 شكل لمعقم مستمر في زجاجة . a= المدخل المائي في مدخل الزجاجات وقسم قبل التسخين ، b= حيز البخار مع الضغط المعدل ، c= المدخل المائي في مخرج الزجاجات وقسم التبريد الأول (d) قسم التبريد الثاني ، درجات الحرارة المسجلة تشير إلى درجات الحرارة داخل الزجاجات ، الماء يدور وينتشر جزئياً

Figure 7.21 Diagram of a continuous in-bottle sterilizer. A = Water seal in the bottle entrance and preheating section; b = steam space with adjustable pressure; c = water seal in the bottle discharge and first cooling section; d = second cooling section. Indicated temperatures refer to that in the bottles. The water is partly circulated

ويقتضي جهداً كبيراً وبسبب ذلك غالباً ما تستخدم المعقمات المستمرة ، بالنسبة للزجاجات يستخدم معقم هيدروستاتيكي وفيه تمر الزجاجات مرتين من خلال المدخل المائي الأول ، ارتفاعه 10 متر ، معيار ضغطه واحد بار (شكل 21.7) . تقوم الزجاجات في بعض الآلات بحركة اهتزازية

والتي بواسطتها يسرع انتقال الحرارة للألواح ما يسمى "cooker and cooler" والمزود بمحابس هوائية دوارة عادة ما يستخدم يسمح تعقيم مستمر باستعادة حرارة معتبرة .

3.4.7 استعادة الحرارة ***Heat Regeneration***

الاستعادة هي إعادة اكتساب الحرارة وتوفير لطاقة التبريد في عمليات مشتركة من التسخين والتبريد (انظر شكل 16.7) . التأثير المستعاد هو الحرارة الممتصة في قسم الاسترجاع كنسبة من الحرارة الكلية الممتصة ، إذا كانت الحرارة النوعية هي نفسها لكل السوائل عند جميع درجات الحرارة ، ويمكن ببساطة حساب التأثير المستعاد R من :

$$R = \frac{T_{reg} - T_{inl}}{T_{\max} - T_{inl}} \qquad (7.18)$$

حيث T_{reg} هي درجة الحرارة بعد التسخين في قسم الاسترجاع ، T_{inl} هي درجة الحرارة عند مدخل المبادل الحراري ، و $T_{\max}$ هي الحرارة الأعلى (التعقيم Pasteurization) للبن .

في الأساس ، يمكن أن تتحقق نسبة استرجاع الحرارة التي تقترب من 100% ، ولكن ذلك سوف يحتاج سطح تسخين كبير للغاية وعدم فقد حقيقي للطاقة إلى البيئة المحيطة ، والتي سوف يحتاج إلى احتياطات مكلفة للغاية . هناك وضع أمثل عنده تكون الاستعادة الزائدة لطاقة التبريد والتسخين عن طريق إضافة ألواح إضافية ... الخ تعادل بعضها . وعادة ما تكون قيمته 90% استرجاع .

نسبة عالية من الاسترجاع أيضاً لها عيوب . ولكن نبدأ بها لأنها تأخذ وقتاً طويلاً (حتى ساعة) للمبادل الحراري أن يصل إلى درجة الحرارة المطلوبة عندما نبدأ العملية . وهذا لا يلعب فقط جزءاً أثناء بداية عملية التسخين ولكن أيضاً في تنظيف المبادل . وعلى ذلك مبادل حراري خاص ليسخن المعدة تكون في بعض الأوقات متصلة ، العيب الثاني هو أن تسخين اللبن يستغرق مدة أطول . في أبسط الحالات كما هو موضح في شكل 17.7 ، الفرق في درجة الحرارة في قسم الاسترجاع الحراري بين اللبن المسخن واللبن المبرد ΔT يكون ثابتاً ، ويساوي الفرق بين درجة حرارة

البسترة والحرارة بعد استرجاع الحرارة . يؤدي استرجاع طاقة أكبر إلى ΔT أصغر ΔT تتناسب مع $(R-1)$ إذا كانت R جزءاً من حرارة الاسترجاع . عند ΔT الأقل فإن سطح التسخين يجب أن يكون أكبر ، وعلى ذلك يكون وقت البقاء في قسم الاستعادة أطول ، ومن الواضح أن وقت تسخين اللبن يتناسب تناسباً عكسياً مع $(R-1)$ وبالتالي يزيد تأثير الاسترجاع من 70% إلى 90% وينتج عن ذلك 3 أضعاف الزيادة في وقت التسخين . شكل 20.7 يعطي مثالاً لوقت التسخين الطويل والذي اختير لإعادة استرجاع حرارة أكبر . وعند مقارنة هذا المثال مع شكل 12.7 يتبين التأثير الأقوى لإعادة استرجاع الطاقة الأكبر على وقت التسخين الفعال ، وخاصة للتفاعلات ذات Q_{10} المنخفضة .

4.4.7 التحكم *Control*

يمكن القول بأن المنتج المسخن يجب أن يكون آمناً ونوعيته مرضية ، وهذا يتطلب مراقبة صارمة . وهذا ممكن تحقيقه بمراقبة خصائص المنتجات النهائية . ولكن يجب أيضاً اتخاذ الاحتياطات ضد المخاطر أثناء المعاملة الحرارية ، في هذه الأيام ، عادة ما تراعى نقاط المراقبة الحرجة لتحليل المخاطر HACCP ، الأخطار الرئيسية هي كالتالي :

1. شدة التسخين يمكن ألا تكون كافية لأن مصدر البخار وبالتالي درجة حرارة التسخين يمكن أن تتذبذب أو لأن زيادة مفاجئة في تكون مواد التلوث الغريبة . عادة مصنع البسترة يكون له ما يسمى صمام تحويل الانسياب الأوتوماتيكي Automatic Low Diversion Valve : ينساب اللبن للخلف إلى الأنبوب الرئيسي إذا انخفضت درجة حرارة البسترة تحت قيمة محددة لقبل البدء (انظر أيضاً شكل 17.7) . وبالتالي يمكن استخدام مضخة توقيف أوتوماتيكية "Pump stop" بالإضافة إلى ذلك يجب أن تسجل درجة حرارة التسخين باستمرار . سوف تكون خطورة وجود فترة تسخين مختصرة قليلة

، تكون الأحجام في المبادل الحراري (وخاصة في الحامل) ثابتة ، وعادة ما يكون من المستحيل أن مضخة اللبن سوف تجري أسرع فجائياً .

2. إعادة التلوث هو عامل محتمل ، فاللبن الخام الذي كانت معاملته الحرارية غير كافية يمكن أن يختلط مع اللبن المسخن ، فمثلاً بسبب وجود تسرب في المبادل الحراري أو بسبب أخطاء موجودة في توصيل الأنابيب . وطبيعياً يمكن أن يحدث التلوث عندما يمر اللبن خلال آلة أو أنبوب غير نظيف تماماً . ويجب تجنب حدوث إعادة التلوث في معاملة UHT لأنها عادة ما تكون لها علاقة بأدوات التغليف غير المعقمة (فصل 15) والمجنس خاصة بكتيريا واحدة لكل 1000 لتر من اللبن يمكن أن تسبب فساداً غير مقبول . إلا أنه يمكن أن تكون تأثيرات معتبرة في اللبن المبستر والمعامل حرارياً إعادة تلوث بسيط يمكن أيضاً أن يكون لها تأثيرات معتبرة .

3. يمكن أن يحدث نمو البكتيريا في معدات التسخين ، فمثلاً في مبستر الدفعة الواحدة Batch pasteurizer . خاصة في وعاء مثل خزان التوازن Balance tank ومن خلاله ينساب اللبن ، بينما يحافظ على درجات حرارة عالية نسبياً ولبعض الوقت . بكتيريا باسيلس ستياروث سيتاروثيرموفيليس *Bacillus stearothermophilus* تتراوح درجات حرارة النمو البكتيري العضوي بين 65 و 75 درجة مئوية) . وكقاعدة ، تكون أعداد هذه البكتيريا في اللبن الخام منخفضة للغاية . وعلى ذلك سوف يكون التلوث محسوساً فقط بعد ساعات كثيرة . ومن الواضح أن التنظيف المستمر والتطهير للمعدات يمكن أن يتغلب على هذه المشاكل .

بعد الاستخدام لعدة ساعات ، يمكن أن يحتوي اللبن المبستر على بكتيريا نامية في قسم الاستعادة أو الاسترجاع . البكتيريا المستخدمة تتحمل بسترة اللبن ويمكن أن تكون مستعمرات على سطح الألواح أو الأنابيب . يمكن أن تنمو البكتيريا المكونة لما يسمى مستعمرات دقيقة "Microcolonies" بسرعة مسببة زيادة معنوية في العد البكتيري في اللبن المبستر بعد 10 ساعات

من الاستعمال المستمر للجهاز . الكائنات الدقيقة المسببة للمشاكل هي عادة ستريبتوكوكس ثيرموفيليس *Streptococcus thermophilus* (درجة حرارة النمو العظمى حوالي 53 درجة مئوية) ، ولكن إنتيروكوكس ديرانس *Enterococcus durans* (الدرجة العظمى لها 52 درجة مئوية) وأنثيروكسوكس فيكالس *E.* faecalis (الدرجة العظمى لها 47 درجة مئوية) يمكن أيضاً أن تسبب مشاكل عدة . والعلاج الواضح هو النظافة المستمرة وعلى فترات قصيرة .

مراجع مقترحة *Suggested literature*

أساسيات نقل الحرارة تم مناقشتها في أغلب الكتب المرجعية في هندسة الغذاء مثل :

R.P. Singh and D.R. Heldman, Introduction to Food Engineering, Academic Press, Orlando, FL, 1984.

والذي يعطي مناقشة أساسية عامة .

العمليات الحرارية المستعملة في اللبن :

H. Burton, Ultra-High-Temperature Processing of Milk and Milk Products, Elsevier, London, 1988.

تأثيرات المعاملة الحرارية على اللبن :

P.P. Fox, Ed, Heat-Induced changes in Milk, 2and ed, International Dairy Federation, Brussels, 1995.

الطرق الجديدة لوصف وتصوير منحنيات الموت الحراري للكائنات الدقيقة :

M. Peleg, Food Res. Intern, 32, 271-278, 1999, M.A.J.S. Van Boekel, Int. J.Food Microb., 74, 139-159, 2002.

8 الطرد المركزي *Centrifugation*

يستخدم عادة الطرد المركزي لفصل كريات الدهن في شكل قشدة ، أو لفصل الجزيئات الصلبة من اللبن والسوائل الأخرى .

1.8 فصل القشدة *Cream Separation*

يستخدم الطرد المركزي في إنتاج القشدة واللبن الفرز (منزوع الدسم) ، وللحصول على بعض القشدة من الشرش أو اللبن الخض الناتج أثناء تصنيع الزبدة من القشدة الحلوة ولمعايرة اللبن والمنتجات اللبنية إلى محتوى دهني مطلوب . ويستخدم في صناعة أغلب المنتجات اللبنية .

يكون عند المقارنة بالقشدة الطبيعية (انظر تحت الفصل 4.2.3) ، الفصل بالطرد المركزي أسرع وأكمل ، ويتم انجاز هذا بواسطة (1) بالانسياب خلال العملية (2) يسبب حركة كريات الدهن السريعة بواسطة زيادة ارتفاع عملية الطرد المركزي (3) بواسطة الحد من المسافة التي يجب على كريات الدهن أن تتحركها . ويمكن تحقيق ذلك بتقسيم الغرفة التي يحدث فيها التقشيد إلى أقسام رقيقة للغاية .

الأساس هوالموضح في شكل 1.8 . يدخل اللبن الآلة عبر المحور المركزي وينساب داخل قدر متحرك من خلال ثلاث فتحات أو أكثر في القدر . ثم بعد ذلك يدخل مجموعة من الأقراص المخروطية لها فتحات متلائمة ، وينقسم الانسياب إلى شقوق طولية عديدة بين الأقراص . تقود قوة الطرد المركزية كريات الدهن في كل شق طولي ناحية القرص الأسفل ، ومنه تتحرك الكريات إلى أعلى وإلى الداخل في شكل قشدة . اللبن الفرز أي تتحرك بلازما اللبن المحتوي على كريات الدهن

الصـــغيرة التي هربت من الفصـــل ، إلى الخارج . يتحرك كلا التيارين إلى أعلى بعد ذلك ويظلان منفصلين بواسطة قرص القشدة "Cream disk" قبل أن يطردا من جهاز الطرد المركزي .

تستخدم أنواع مختلفة من الآلات لتفريغ القشدة و اللبن الفرز ، يسمى الجهاز الموضح في شـكل 1.8 جهاز الفصـل شـبه المفتوح Semiopen . يكون للسـوائل طاقة حركية عالية نتيجة الدوران السـريع للقدر (تبلغ عادة 5000 لفة في الدقيقة على الأقل) وترغم بالقوة داخل مضـخات قوة جاذبة ، تسـمى أيضاً الأقراص المتساوية التي تسبب الطرد تحت ضغط ، وعلى ذلك فالأجزاء الدوارة والساكنة للآلة تكون منفصلة .

في جهاز الفصـل محكم السـداد Hermetic Separator تكون أنابيب الطرد متصـلة بـالجزء الـدوار بواســطة أختـام تحتوي على حلقـة تعبئـة مرنـة ، والتي يمكن أن تتحمـل ضـــغط السـائل . يكون دخول اللبن أيضـاً متصـــلاً بهذه الطريقة ، جهاز الفصـــل هو جزء من جهاز مفتوح ، يتكون من مضخة وخطوط أنابيب ومبادل حراري ... الخ . كفاءة جهاز الفصل هي 20 ألف لتر لبن لكل ساعة.

تكون كفاءة الفصل عادة اهتماماً أساسياً في تصنيع بودرة لبن الفرز ، في نزع القشدة من شـرش الجبن و... الخ . العوامل المؤثرة على نسـبة كريات الدهن التي هربت من الفصـل يتبع جزئياً معادلة سـتوكي Stoke's equation (معادلة 16.3) يمكن حسـاب السـرعة النسـبية V لكريات الدهن بالنسبة للسائل المحيط لترسيب كريات الدهن بالطرد المركزي كالتالي :

$$V = \frac{Rw^2(\rho_p - \rho_f)d^2}{18\eta_p} \quad \ldots (1.8)$$

حيث R هو نصف القطر الفعال لجهاز الطرد المركزي . w هي معدل الدوران بزاوية نصف قطرية لكل ثانية (والتي تسـاوي $\pi/30$ مرة عدد اللفات لكل دقيقة) ρ هي الكثافة ، و η هي اللزوجة ، الحروف f, p تشـــير إلى بلازما اللبن وكريات الدهن على التوالي ، تكون قيم الكثافة واللزوجة لمدى من درجات الحرارة موضحة في الملحق 10.A .

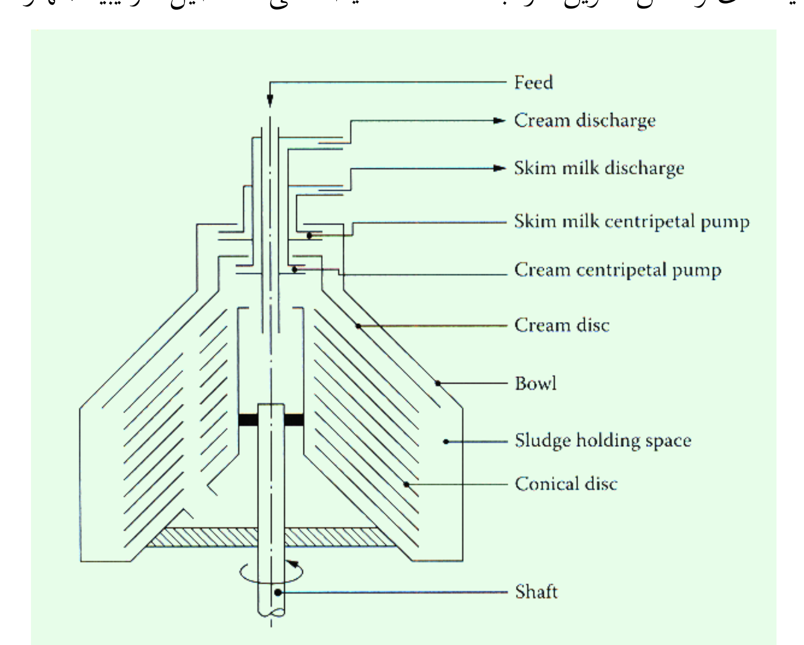
العوامل المحددة لكفاءة التقشيد هي كالتالي :

1. سرعة الطرد المركزي Rw^2 : وهي عادة حوالي 6000 لفة (g) ، حيث g هي عجلة الجاذبية الأرضية .
2. توضح المسافة التي يجب أن تتحرك خلالها كريات الدهن ، شكل 1.8 أن الأقراص تقسم حجرة جهاز الفصل إلى عدد كبير من المسافات . يحدث الفصل خلال حوالي 0.5 مليمتر فقط .
3. الوقت اللازم للفصل : هذه النتائج من حجم وهندسة الجزء من جهاز الطرد المركزي الذي يحدث فيه الفصل ومن معدل انسياب اللبن .
4. التوزيع الحجمي لكريات الدهن : القطر الحرج لكريات الدهن التي تسترد بواسطة الطرد المركزي هو حوالي 0.7 ميكرومتر . ويمكن أن تحسب هذه من التفاصيل التركيبية لجهاز الفصل وظروف التشغيل وخواص اللبن ، باستخدام المعادلة 1.8 . وعلى ذلك تكون كمية الدهن الموجودة في كريات الدهن الصغيرة ، ذات أهمية كبرى ، وهذا يتم توضيحه في شكل 2.8 A . بالإضافة إلى ذلك ، يكون بعض الدهن غير الكروي موجوداً في اللبن (حوالي 0.025%) عند درجة 45 درجة مئوية ، يمكن عادة الحصول على محتوى الدهن في اللبن المفصول من 0.04 إلى 0.05% .
5. درجة الحرارة . تؤثر درجة الحرارة على η_p وأيضاً ρ_t, p_f ، و d . يمكن أن تجمع هذه المتغيرات في عامل مؤثر ، أي السرعة المحسوبة من المعادلة 1.8 مقسومة على السرعة عند درجة 20 مئوية ، تم توضيح تأثير درجة حرارة الفصل على هذا العامل وعلى محتوى الدهن من اللبن المفصول في شكل 2.8 B . إذا فصل اللبن عند درجة حرارة منخفضة أي عند 4

درجات مئوية . يمكن اســـتخدام جهاز فصــــل خاص تم تكوينه للبن البارد ، حيث المحتوى الدهني للبن الفرز النتاتج عادة ما يتراوح بين 0.07 إلى 0.1% .

6. التشــغيل الصــحيح لجهاز الفصــل ، ويقتضــي هذا عدم وجود ذبذبات أو تسـرب . يؤثر التصـميم على النتائج لأنه يحدد التغيير في وقت البقاء وفي نصـف القطر الفعال (انظر شـكل C 2.8) . جانب آخر هو تمزيق كريات الدهن إلى كريات أصـغر في جهاز الفصــل ، والذي يقلل من كفاءة الفصــــل . ويمكن أن يحدث هذا خاصــــة عند درجات حرارة أعلى كما هو موضــــح في شــــكل B2.8 ، يعتمـد التـأثير كثيراً على التفـاصــــيـل التركيبيـة لجهـاز الفصل .

إذا اســـتخدم جهاز الفصـــل فقط في التقييس Standardization ، لا تكون كفاءة الفصــل ذات اهتمام رئيســي . متغيرات هامة هي الســعة الكبيرة حتى عند تكاليف محتوى الدهن العالي للبن الفرز ، ووقت العملية الطويل . يحدد العامل الأخير ترسـيب الجزيئات الصــلبة (القذارة dirt) على الأقراص التي يمكن أن تعيق الانسياب خلال القدر ، يعتمد تكون الرواسـب بقوة على التركيز ونوع الجزيئات في اللبن ، على الأقل يمكن أن يزال جزء من الجزيئات بواســـطة الترشـــيح الدقيق (انظر تحت فصل 1.1.12) . تكون تركيزات جسيمات الكازين في تركيزات غير ثابتة . أي عند أس هيدروجيني منخفض أو عند نشـــاط أيونات الكالســـيوم العالية . يمكن أن تترســـب الكازينات . أغلب الرواســـب (القاذورات Dirt) وبعض الكازينات ســـوف ترســـب في الفراغ الاحتجاز الموضــح في شــكل 1.8 . يمكن أن تتكون ترســيبات دهنية عند درجة حرارة تشـغيل منخفضة ، ناتجة عن التحام كريات الدهن في أماكن أخرى . (انظر تحت فصل 2.2.2.3) لمتغيرات هذه العملية مدى وأماكن تكوين الترسبات ، تعتمد أيضاً على التفاصيل التركيبية لجهاز الفصل .



شكل 1.8 القاعدة الأساسية لما يسمى جهاز الفصل شبه المفتوح . القدر المتحرك وأجزاء الجهاز غير المتحركة للإمداد والطرد تم توضيحها . في الواقع يحتوي القدر على عدد كبير من الأقراص

Figure 8.1 The basic principle of a so-called semiopen milk separator. The (revolving) bowl and the (nonrevolving) machinery for supply and discharge are shown. In reality, the bowl contains a far greater number of discs.

Shaft : ذراع .

Conical disc : قرص مخروطي .

Sludge holding space : الفراغ الحاوي للخبث .

Bowl : قدر

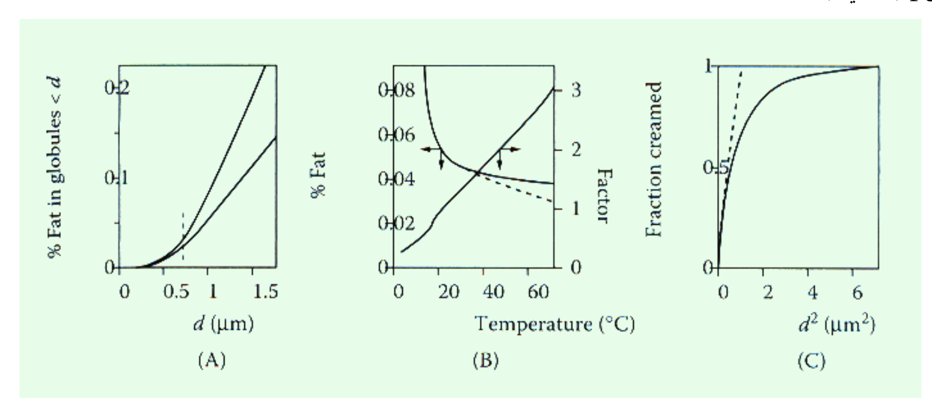
Cream disc : قرص القشدة .

Cream centripetal pump : مضخة جاذبة للقشدة إلى المركز .

Skim milk discharge : خروج اللبن الفرز .

Cream discharge : طرد القشدة .

Feed : تغذية .



شــكل 2.8 الفصــل بالطرد المركزي (A) كمية الدهن الموجودة في الكريات أغصــر من *d* في القطر ، المنحنى يمثل تقريباً الحدود القصــوى الموجودة في الألبان من الأبقار كل على حدة . (B) تأثير درجة حرارة الفصــل على عامل الكفاءة (انظر فصل 1.8) وعلى محتوى الدهن في اللبن المفصول ؛ الخط المنكسر يكون متوقعاً إذا لم يحدث تمزيق لكريات الدهن (C) جزء من الدهن لا يبقى في اللبن الفرز كدالة على مربع قطر كريات الدهن ، الخط المنكسر يكون متوقعاً إذا كانت ظروف التشغيل واحدة لكل كرية دهن . أمثلة تقريبية

Figure 8.2 Centrifugal separation. (A) Amount of fat present in globules smaller than *d* in diameter; the curves represent approximately the extremes found in milks from individual cows. (B) Influence of the separation temperature on the efficiency factor (see Section 8.1) and on the fat content of separated milk; the broken line is expected if no disruption of fat globules would occur. (C) The fraction of the fat not left in the skim milk as a function of the square of the diameter of the fat globules; the broken line is expected if the operational conditions are the same for each fat globule. Approximate examples

متغير هام آخر ، هو نسبة اللبن التي تخرج مع لقشـدة ، والتي تحدد مع محتوى دهن اللبن ، ومحتوى الدهن في القشـــدة . يتم انجازه وهذا باســتخدام صــمام خانق في خط تفريغ القشـــدة . عندما يسـتخدم جهاز فصــل شـبه مفتوح هناك حدود لمحتوى الدهن الذي يمكن الوصــول إليه ، ولنقل 35% في جهاز الفصـل محكم السـداد Hermetic separator يمكن الحصـول على قشـدة ذات محتوى دهني عالٍ . لكي نحصـل على قشـدة بلاسـتيكية "Plastic cream" أي محتوى الدهن بها أعلى من 65% ، نحتاج إلى جهاز فصل مصمم خصيصاً .

2.8 إزالة الجزيئات *Removal of Particles*

ويمكن أيضـــاً أن تزال الجزيئات التي لها كثافة أكبر من بلازما اللبن بواســـطة الطرد المركزي . وهي تشـــمل جزيئات الخبث ، الخلايا الجســـمية أو حتى الكائنات الدقيقة . يعتمد معـدل الإزالـة بشـــدة على درجـة الحرارة لأن قيمـة η_p تنخفض كثيراً بزيـادة درجـة الحرارة . وبالإضـــافة إلى ذلك في اللبن الخام أو المعامل حرارياً . تترســـب الخلايا الجســـمية وبكتيريا عديدة في التجمع البـارد لكريـات الـدهن (انظر تحـت فصـــل 2.4.2.3 و 3.4.2.3) ويعني هـذا أن أغلب هذه الخلايا يتم إزالتها مع القشـدة ، وتتم إزالة أكثرها كلما انخفضـت درجة الحرارة عن 35 درجة مئوية .

إزالة جزيئات الخبث والخلايا الجســمية هي نتيجة مكملة لفصــل القشــدة بالطرد المركزي كما هو متبع عادة عند درجة 40 مئوية . في أجهزة الفصل التقليدية ، يجمع الخبث في فراغ القسم الحاوي ، ويتم إزالته بعد توقف العملية . ويمكن في المعدات الجاري اســـتخدامها إزالة الرواســـب خلال صـمام صـغير في الجدار الخارجي للقدر ، يمكن أن تفتح الصـمامات وتغسـل بماء دافق على فترات ، دون توقف عملية الفصل .

تسـمى بعض أجهزة الفصـل بعض الأوقات بالمروقات Clarifiers وتبنى خصـيصـاً لإزالة الجزيئات الصلبة . يدخل السائل القدر عند الحافة ويتحرك بين الأقراص إلى المركز ، ومن هناك يتم تفريغه ، ويحســـن هذا كفاءة الفصـــل بإعطاء الجزيئات وقتاً أطول لكي تترســـب . يتم عادة إزالة الخبث باســتمرار من القدر من خلال عدد من الثقوب الصــغيرة . المروقات نادراً ما تســتخدم في مصنع الألبان ، ماعدا لغرض واحد خاص ، والذي سوف يناقش في النص التالي :

وهذا يخص عملية إزالة البكتيريا من المنتجات بالطرد المركزي Bactofugation وتستخدم خصـيصـاً لإزالة الجراثيم من المنتجات منخفضــة البســترة ، وهذا يمكن بالتحديد من إزالة جراثيم باســـيللس ســـيريس *Bacillus cereus* من المشـــروبات اللبنية أو الكلوســـتريديم تيروبيتيركيم *Clostridium tyrobutyricum* والأنواع ذات الصـلة بجبن اللبن . تكون الجراثيم صـغيرة للغاية ، ولأغلـب الأنواع من 1 إلى 1.5 ميكرومتر ، ولكن اختلاف الكثـافة مع البلازمـا تكون أكبر من

تلك الموجودة في البكتيريا ، عند حرارة فصل قدرها 60 أو 65 درجة مئوية ، يمكن أن تزال نسبة كبيرة وتبلغ عادة 90 إلى 95% . يمكن باستخدام جهازين لإزالة الجراثيم Bactofuges ، في تتابع الحصول عادة على انخفاض فوق 99% .

يستخدم حالياً نوعان من أجهزة الطرد المركزي المستخدمة محكمة السداد Hermetic . الأول يشبه المروق العادي Clarifier إما ذا تفريغ مستمر أو متقطع للخبث . يكون الخبث أقل من 0.2% من اللبن . النوع الثاني يشبه فاصل القشدة في أن له مخرجين عند القمة ، واحداً للبن النظيف والآخر للجزء الذي يحتوي على الجزيئات المحتوية على الجراثيم (حوالي 3%) وهي أيضاً تحتوي على محتوى عالٍ من جسيمات الكازين ، عادة يتم تعقيم السائل المحتوي على نسبة عالية من الجراثيم ويرجع ثانية إلى اللبن النظيف ، إذا تم ذلك بالنسبة للخبث ، فيجب أولاً أن يخفف بإضافة لبن . إن المعاملة الحرارية غالباً ما تكون لعدة ثوانٍ عند درجة 130 مئوية بواسطة حقن البخار . يتم التبريد بواسطة الخلط الفوري للبن النظيف . ثم بعد ذلك يكون اللبن منخفض البسترة .

يجب أن نلاحظ أن إزالة البكتيريا بالطرد المركزي يكون مكافئاً لتعقيم المنتج الذي يحتوي على بكتيريا مقاومة للحرارة وعدد قليل من الجراثيم . يمكن أن تستخدم العملية في بسترة لبن الشرب الذي يخزن لفترة طويلة ، أو للحصول على جبن لم يعرض لمساوئ حدوث الفقاقيع بالنفخ (فصل 2.2.6) دون إحداث تغيرات غير ملائمة في اللبن .

مراجع مقترحة ***Suggested Literature***

معلومات مفصلة أكثر عن الفصل بالطرد المركزي (في فصل 8) :

H. Mulder and P. wastre, The Milk Fat Globule, Pudoc, Wageningen, 1974.

9 التجنيس *Homogenization*

يسبب تجنيس اللبن تمزق كريات الدهن إلى كريات أصغر ، لذلك يتضخم السطح البيني لبلازما دهن اللبن بواسطة عامل قدره 5 إلى 10 . يغطى السطح البيني الجديد ببروتين اللبن ، تكون جسيمات الكازين سائدة .

1.9 الأهداف *Objectives*

يستخدم التجنيس لأحد الأسباب التالية :

1. إبطال تكوين طبقة القشدة ، ولإنجاز ذلك يجب اختزال حجم كريات الدهن . يمكن أن تزعج طبقة القشدة في المنتج المستهلك ، وخاصة إذا كانت العبوة غير شفافة .
2. تحسين الثبات تجاه الاندماج الجزئي . يكون سبب زيادة ثبات كريات الدهن المجنسة القطر المختزل وبواسطة سطح طبقة كريات الدهن المكتسبة وبالإضافة إلى ذلك . يحدث الاندماج الجزئي خاصة في المنتجات المجنسة . منع الاندماج الجزئي عادة هو الغرض الأكثر أهمية للتجنيس . لا تكون طبقة القشدة في حد ذاتها غير ملائمة ، لأنها يمكن أن يعاد انتشارها في اللبن .
3. خلق صفات ريولوجية مرغوبة : تكوين عناقيد متجانسة (فصل 7.9) يمكن أن تزيد كثيراً لزوجة المنتج مثل القشدة . اللبن الحامض المجنس (الزبادي) له لزوجة أعلى من اللبن غير المجنس . لأن كريات الدهن التي تكون الآن مغطاة جزئياً بالكازين تساهم في تجمع جسيمات الكازين .
4. إعادة اتحاد المنتجات اللبنية : إعادة الاتحاد تم مناقشته في فصل 3.16 عند مرحلة من العملية التصنيعية ، يجب أن يحدث استحلابه لزيت الزبدة في سائل مثل اللبن الفرز المعاد تكوينه، المجنس Homogenizer ليس آلة استحلاب . وعلى ذلك المخلوط يجب أولاً أن يعاد استحلابه ، فمثلاً بواسطة التقليب الشديد ، المستحلب الكثيف المتكون يجنس لاحقاً .

2.9 عمل المجنس *Operation of the Homogenizer*

تتكون المجنسات من النوع الدارج من مضخة ضغط عالٍ والتي تدفع بقوة السائل خلال فتحة ضيقة . تسمى صمام المجنس . شكل A 1.9 يعطي رسماً لحظة انسياب السائل ، لهذه اللحظة سوف تترك المرحلة الثانية جانباً . أساس عمل الصمام وضح في شكل B 1.9 . الصمام تم وضع أبعاده بطريقة ما ليكون الضغط في الصمام (p_2) مساوياً لحوالي صفر عند ضغط تجنيسي معقول ($p_1 = p_{hom}$) لكي يكون $MP_a 3 < P_{hom}$. وفي الحقيقة ، P_2 يميل إلى أن يصبح سالباً ، ويقتضي هذا أن السائل يمكن أن يبدأ في الغليان ، وبمعنى آخر تكون فراغ يمكن أن يحدث (Cavitation هو تكون فقاعات بخار يسببها تذبذب الضغط) .

أثناء التجنيس ضد تيار السائل للصمام Liquid Upstream of the Valve يكون له جهد حراري عالٍ ، وتتحول هذه الطاقة عند دخول الصمام ، إلى طاقة حركية (طبقاً لقاعدة بيرنويللي The rule of Bernoulli) . تؤدي لزوجة السائل العالية في الفتحة الضيقة جداً في الصمام إلى إحداث دوامة عنيفة جداً ، تشتت الطاقة الحركية للسائل وتتحول إلى حرارة (طاقة حرارية Thermal energy) يستخدم جزء صغير جداً من الطاقة الحركية فقط ، عادة أقل من 0.1% في تمزيق الكريات ، أي لتحويلها إلى طاقة بين الأوجه Interfacial energy . وتساوي كمية الطاقة الكلية المتشتتة لكل وحدة حجم (جول.متر$^{-3}$) عددياً P_{hom} (نيوتن.متر$^{-2}$) إذا كانت الحرارة النوعية للسائل هي C_p ، فإن ارتفاع الحرارة التي سببها التجنيس سوف تكون P_{hom}/C_p . بالنسبة للبن . $C_p = 4 \times 10^6$ جول.متر$^{-3}$. K^{-1} . وعلى ذلك فإن $\Delta T = P_{hom}/4$ إذا كانت P_{hom} مميزة MP_a ودرجة الحرارة بالكلفن K . يكون الوقت الذي استغرقه السائل في المرور خلال الصمام قصير جداً . عادة أقل من واحد ميلي ثانية . ونتيجة لذلك ، متوسط كثافة القوة $\bar{\varepsilon}$ (والتي هي الطاقة المشتتة لكل وحدة حجم . وحدة زمن بالجول . متر$^{-3}$ ثانية$^{-1}$ أو $W.m^{-3}$) تكون عالية للغاية أي تساوي من 10^{10} إلى 10^{12} $W.m^{-3}$) (انظر شكل B 1.9) . تؤدي مثل هذه الكثافة للقوة العالية إلى دوامة شديدة ، وهذا يتطلب أن نظام الانسياب يوضح دوامات صغيرة جداً والتي فيها تحدث درجة ميل عالية لسرعة السائل . تسبب

هذه الدوامات تذبذبات في الضغط ، والتي تستطيع أن تمزق الجزيئات ، خاصة القطرات (انظر فصل 3.9) .

يرسم الشكل 2.9 شكلاً توضيحياً لصمام مجنس بسيط مستخدم . تم ضبطه الضغط بواسطة ترك زنبرك التحكم بضغط أسفل الصمام بقوة محسوبة . تستخدم عادة في آلات الضغط الهيدروليكي الكبيرة ضغوط أخرى غير الضغوط الميكانيكية .

توجد في بعض الأوقات حلقة تثبيت Impact ring عند هذه النقطة تكون سرعة السائل مازالت عالية ، أي 50 متر.ثانية$^{-1}$ (180 كيلومتر. ساعة$^{-1}$) يمكن أن تضرب الجزيئات الصلبة الحلقة وبذلك تتمزق . إذا كانت كثافة الجزيئات عالية معنوياً عن كثافة السائل ، تستخدم هذه الطريقة كثيراً لتقليل حجم جزيئات الكاكاو في اللبن بالشوكولاتة .

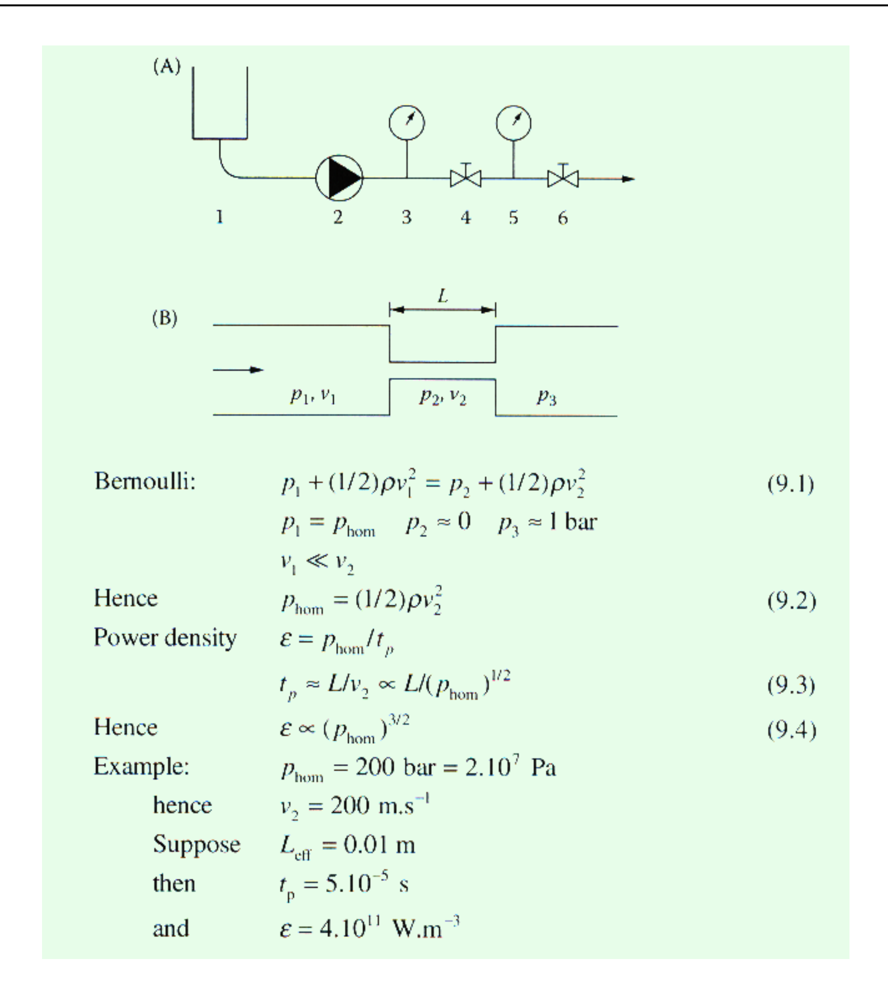
تكون أغلب صمامات المجنسات أكثر تعقيداً من الصمام المرسوم في شكل 2.9 . عادة ، تكون هذه الصمامات أكثر أو أقل مخروطية في الشكل وأكثر تجسيماً للسطح . لكي نمنع تآكل الصمام في بعض المجنسات يدور بصورة نسبية بكرسي الصمام .

3.9 تأثيرات الاضطرابات *Effects of Turbulence*

الدفق (الانسياب) في شق صمام المجنس هو دائماً دفق دوامي مضطرب . عدد رينولد The Reynold's number ($\rho/\eta Vh2 = \mathrm{Re}$) حيث h هي عرض الشق و V متوسط سرعة الانسياب الخطي في الصمام وهو يبلغ 40.000 في المجنسات الكبيرة ، يكون في الآلات الصغيرة Re أصغر ولكن يظل كافياً لإحداث اضطراب .

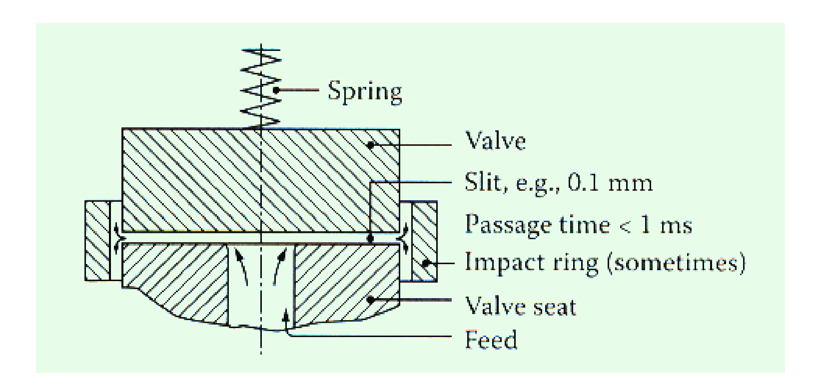
يتميز الدفق الدوامي (المضطرب) بوجود دوامات Eddies ذات أحجام مختلفة والتي تتكون باستمرار ثم تختفي . من نظرية كولموجوروف Kolmogorov theory للاضطرابات موحدة الخصائص isotropic burbulence يمكن حساب الجذر المحلي لمتوسط مربع سرعة الانسياب $V(X)$ في الدوامات الصغيرة ، ويعتمد على قيمة أس الكثافة ε وعلى المسافة المحلية x وطبقاً لمعادلة بيرنويللي Bernoulli equation (انظر شكل 1.9) ، سوف يؤدي هذا إلى تذبذبات ضغط محلي قدره :

$$\Delta\rho(x) = \rho < V^2(x) > \quad (9.5)$$



شكل 1.9 عمل المجنس عالي الضغط (A) رسم تخطيطي لانسياب السائل : 1 = خزان ، 2 = مضخة ضغط عالي ، 5,3 = مانوميتران ، 4 = صمام المجنس ، 6 = صمام المرحلة الثانية ، 5 , 6 لا يوجدان دائماً (B) أساس عمل صمام المجنس (مثال تخطيطي) : P= الضغط ، ρ = كثافة الكتلة ، V = سرعة السائل ، t_p = زمن المرور ، L = طول المرور

Figure 9.1 Operation of the high-pressure homogenizer. (A) Flow diagram: 1, tank; 2, high-pressure pump; 3, 5, manometer; 4, homogenizer valve; 6, valve of second stage; 5 and 6 are not always present. (B) Principle of the homogenizer valve (schematic example): p = pressure; ρ = mass density; v = liquid velocity; t_p = passage time; L = passage length



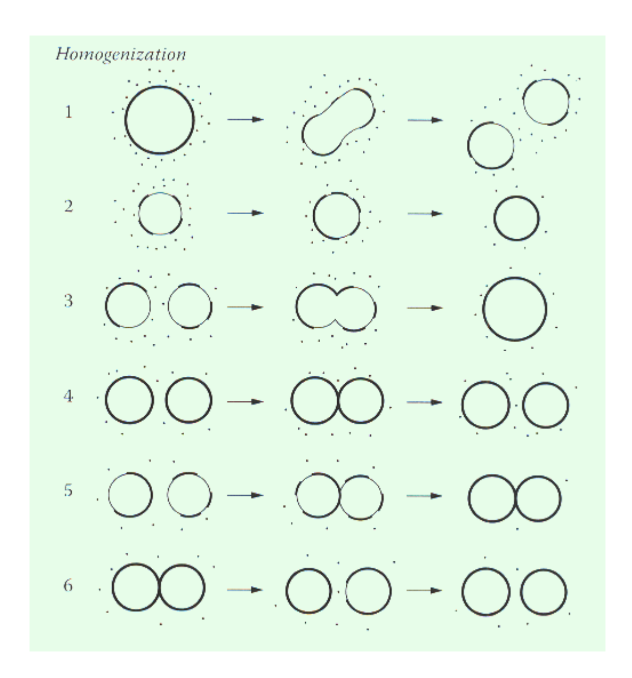
شكل 2.9 قطاع عرضي لصمام لمجنس مسطح (قريب من مقياس الرسم ، ولكن الفراغ بين الصمام والكرسي يكون أقل كثيراً من الرسم)

Figure 9.2 Cross section of a flat homogenizer valve (near to scale, but the spacing between valve and seat is much smaller than drawn)

ونتيجة لهذه الاضطرابات تستطيع قطرات الدهن أن تشوه ومن المحتمل أن تتمزق إلى قطرات أصغر منها ، القطرة التي تقاوم التشـوية لأن لها ضـغطاً مسـاوياً لضـغط لابلاس Laplace pressure ($P_{La} = \delta / d4$ كما تم مناقشته في تحت فصل 4.1.1.3) ، ولكن إذا كان فرق الضـغط المحلي أكبر من ضـغط لابلاس للقطرة ، فإن تمزيقها يحدث عامة . ثم يتبع ذلك من النظرية أن الحجم الأقصى الذي يمكن أن تصل إليه القطرة في الدفق المضطرب (القطرات الكبيرة سوف تتمزق) يمكن حسابه بواسطة المعادلة :

$$d_{\max} = \varepsilon^{-0.4} \gamma^{0.6} \rho^{-0.2} \qquad (9.6)$$

تكون هذه علاقة بسيطة للغاية والتي تطبق لمتوسط حجم القطرة . في اللبن سوف يكون قيمة توتر السـطح الفاصـل γ بين الزيت والبلازما حوالي 15 أو 20 $m^{-1}.Nm$ عند اللحظة التي يحدث فيها التمزيق ، تكون قيمة ε عالية جداً في ضـغط المجنس العالي لأن الكمية العالية لطاقة الحركة المتاحة تتشتت في وقت قصير للغاية (انظر شكل 1.9) .



شكل 3.9 العمليات التي تحدث في مستحلب زيت–في– الماء أثناء التجنيس القطرات رسمت بخطوط رفيقة ، المواد نشطة السطح (مثل البروتين) رسمت بخطوط سميكة ونقط (رسوم تخطيطية وليست لمقياس رسم)

Figure 9.3 Processes occurring in an oil-in-water emulsion during homogenization. The droplets are depicted by thin lines, the surface-active material (e.g., protein) by thick lines and dots (schematic and not to scale)

(ملاحظة ، إن تمزق القطرة ليس ناتجاً عن قوى الشـير Shear forces (قوى اللزوجة) ، كما يقال أحياناً ولكن نتيجة قوى القصـور الذاتي Inertial forces ومن جانب آخر ، النظرية المسـتخدمة هي إلى حد ما تبسـيط للغاية . وخاصـة إذا كانت Re ليسـت عالية جداً وتتكسـر القطرة إلى قطرات أصـغر ، وتلعب قوى اللزوجة دوراً ، بعد ذلك يكون قطر القطرات الناتجة أيضـاً معتمداً على لزوجة المظهر المستمر Continuous phase) .

تحدث أثناء التجنيس عمليات عديدة متزامنة ، كما هو مرسـوم في شـكل 3.9 القطرات تتشوه (الصف الأول) ومن الممكن أن تتمزق (الصف الأول) وبالتالي تزداد مساحة السطح الكلية

وتضاف سطوحاً نشطة (مثل البروتين في اللبن) يجب أن يحدث لها ادمصاص على سطح القطرات (الصف الثاني . سوف تلتئم القطرات المتكونة حديثاً مع بعضها ، والذي يمكن أن يؤدي إلى إعادة الاندماج إذا كان حمل سطح البروتين مازال صغيراً (الصف الثالث) . إذا بروتين كافٍ حدث له ادمصاص ، فالالتحام لا يمكن أن يكون له تأثير (الصف الرابع) . يحدث التمزق والالتحام عدة مرات أي حوالي 50 مرة أثناء مرور الصمام .

يحدث التمزق في خطوات لأن القطرة المشوهة سوف تتكسر إلى أكثر من عدة قطرات صغيرة قليلة ، سوف يقل الحمل السطحي ويزداد ثانية عدة مرات ، (الصف الخامس والسادس تم مناقشته في فصل 7.9) .

تعتمد معدلات العمليات المختلفة على عدد من المتغيرات ، مثل قوة الكثافة power density ، تركيز المواد نشطة السطح Surfactant concentration حجم القطرة ، الكسر الحجمي volume fraction ، وكل منها له وقت مميز τ مثلاً إذا كانت τ_a أكبر (ادمصاص) من τ_d (تشويه) يمكن أن يكون للقطرات لها حمل سطحي منخفض وبذلك يكون لها توتر سطحي بيني أعلى أثناء التشوه والتكسر ، مسببة تكسيراً فعلياً أقل . إذا كانت τ_a أكبر من τ_e أي متوسط الوقت بين قطرتان متقابلتان (التحام) فإن فرصة أن يعاد الالتحام تكون أكبر . سوف تنتج كلتا الحالتين في قطرات متوسط حجمها كبير نسبياً .

تعطي نظرية كولموجوروف Kolmogorov theory معادلات لقيم τ ومن هذه النظريات تستطيع حسابها للبن والقشدة المجنسة عند درجة حرارة 60 مئوية وضغط $20\ P_aM$. التالي أوقات تقريبية :

	اللبن (4% دهن)	القشدة (25% دهن)
وقت الادمصاص (τ_a بالميكروثانية) Adsorption time	0.3	1
وقت التلاقي (τ_e بالميكروثانية) Encounter time	0.2	0.02
وقت التشوه (τ_d بالميكروثانية) Deformation time	0.5	0.5

تكون للبن كل هذه الأوقات تقريباً واحدة ، ولكن تكون للقشدة مختلفة . بالإضافة إلى ذلك يقدر عامل بحوالي 100 أقصر من وقت المرور خلال صمام المجنس . جدول 1.9 وشكل 4.9 يعطيان أمثلة للتأثيرات التي يحدثها التجنيس . ولأن الظروف وكذلك ε تختلف من مكان لآخر في صمام المجنس . سوف يكون هناك انتشار كبير في $d_{\max}$ وعلى ذلك يكون توزيع الحجم الناتج واسعاً ، وكما هو موضح في شكل 4.9 يقلل التجنيس المتكرر متوسط القطر d_{VS} ، وكذلك توزيع العرض C_S (تم وصف توزيع حجم الجزيء في تحت الفصل 4.1.3) . يصبح هذا التوزيع أوسع إذا حدث إعادة التحام معنوي للقطرات .

4.9 العوامل المؤثرة على حجم كريات الدهن *Factors Affecting Fat Globule size*

العوامل الأساسية المؤثرة في حجم كريات الدهن هي :

1. نوع المجنس : خاصة تركيب صمام المجنس ، لنفس ضغط المجنس P وقت العبور t_p سوف يختلف ولذلك سوف تكون $\bar{\varepsilon} = p\sqrt{t_p}$ بالإضافة إلى ذلك السرعة في الظروف سوف تختلف اختلافات واضحة تم ملاحظتها في النتائج . شكل 5.9 يقدم أمثلة .
2. ضغط التجنيس : المعادلة 4.9 توضح أن $\bar{\varepsilon}$ تتناسب مع $P^{1.5}$ ، من $E^{-0.4}\alpha\, d_{\max}$ (المعادلة 6.9) ومن الملاحظ أن شكل التوزيع الحجمي لكريات الدهن يعتمد فقط قليلاً على الضغط، يمكن الاستدلال على أن :

$$\log d_{VS} = \text{constant} - 0.6\log\rho \qquad (9.7)$$

وأن :

$$\log H = constant \; - 1.2\log\rho \qquad (9.8)$$

حيث مؤشر الترسيب H يكون متوسط مربع القطر (انظر أيضاً شكل 5.9) هذه تكون معادلات مفيدة لأنه من النتائج المتحصل عليها عند ضغط واحد ، التأثير عند ضغوط أخرى يمكن أن يتم التنبؤ بها . يعتمد الثابت على المجنس ومؤشرات أخرى . يعطي الجدول 1.9 أمثلة للنتائج .

3. التجنيس على مرحلتين : يمر اللبن أولاً على صمام المجنس الذي به ضغط منخفض . أي من 20 إلى P_aM5 (يساوي الضغط الأدنى داخل الصمام صفر) خلال صمام المجنس الثاني ينخفض الضغط إلى حوالي واحد بار ($P_aM0.1$) (انظر شكل 1.9) . لا يكون هناك تجنيس معنوي في فتحة الصمام الثاني . وطبقاً لذلك يكون تأثير المرحلة الثانية على حجم كرية الدهن صغيراً . وبمعنى آخر يؤدي التجنيس لمرحلة واحدة عند P_aM20 إلى نتائج تشبه التجنيس في مرحلتين عند 20 و P_aM5 وتكون النتائج سيئة إذا كان انخفاض الضغط الكلي في المرحلة الثانية يزداد إلى أكثر من حوالي 30% من انخفاض الضغط الكلي . الغرض من التجنيس على مرحلتين هو شيء آخر (انظر فصل 7.9) .
4. محتوى الدهن ونسبة كمية المادة نشطة السطح (البروتين) إلى كمية الدهن : إذا لم يتوفر بروتين كافٍ لتغطية سطح الدهن المتكون حديثاً ، فمتوسط قطر كريات الدهن (d_{VS}) وتوزيع العرض النسبي (C_S) سوف يكون كبيراً (انظر شكل 6.9) . هذه النتائج على الأقل نوعياً من النظرية المعطاة في فصل 3.9 . في القشدة ، الوقت اللازم لتكوين طبقات مدمصة أطول مما هو في اللبن . بينما يكون متوسط الوقت بين المتلاقين لقطرة واحدة مع أخرى أقصر كثيراً . ونتيجة لذلك في القشدة يمكن أن يحدث إعادة التحام أكثر من القطرات المتكونة حديثاً . يوضح شكل 6.9 أيضاً أن العلاقة البسيطة للمعادلة 7.9 لا يمكن تطبيقها إذا كان محتوى الدهن يتعدى 10% (انظر أيضاً فصل 7.9) .
5. أنواع المواد نشطة السطح : عندما تضاف مواد نشطة السطح (ناشرة) ذات جزيئات صغيرة ، مثل التوين 20 أو صوديوم دوديسيل سلفات ، يصبح التوتر السطحي البيني الفعال منخفضاً وتتكون كريات أصغر .
6. درجة الحرارة : عادة ما يحدث التجنيس عند درجات حرارة بين 40 و75 درجة مئوية . يكون التجنيس ضعيفاً إذا انخفضت درجة الحرارة لدرجة أن جزء من الدهن يتبلور (انظر شكل 11.9) . أي زيادة لدرجة الحرارة بعد ذلك يكون لها تأثير محدود ، لأن لزوجة الزيت تقل بعض الشيء .

7. طريقة التشغيل الصحيحة للمجنس : تذبذبات الضغط (بسبب تسرب في الصمام و... الخ) تآكل صمام المجنس يمكن أن يكون دخول الهواء له تأثيرات ضارة . مشتملات الهواء الداخل وتآكل صمام المجنس يجب أن يتم تجنبها . إذا كان السائل يحتوي على جزيئات صلبة مثل الغبار والكوكا الصمام يمكن أن يتآكل بسرعة ، وينتج عن ذلك تجنيس غير مرضي .

تأثير التجنيس يجب أن يتم فحصه بانتظام . متوسط حجم كريات الدهن يمكن استنتاجها من قياسات اضطرابات معينة عند طول موجي طويل (مثل واحد ميكرومتر) بعد تخفيف اللبن وإذابة جسيمات الكازين . تقدير في هذه الطريقة يمكن تأثير عملية التجنيس بسرعة وسهولة . يكون التقدير المستمر في الأساس ممكناً في التطبيق العملي ، تسريع عملية التقشيد تعمل عادة . كمية معينة من اللبن بالطرد المركزي ، ومحتوى الدهن للبن الفرز يتم تقديرها .

جدول 1.9 متوسط تأثير التجنيس على لبن به 4% دهن

Table 9.1 Average Effect of Homogenization on Milk with 4% Fat

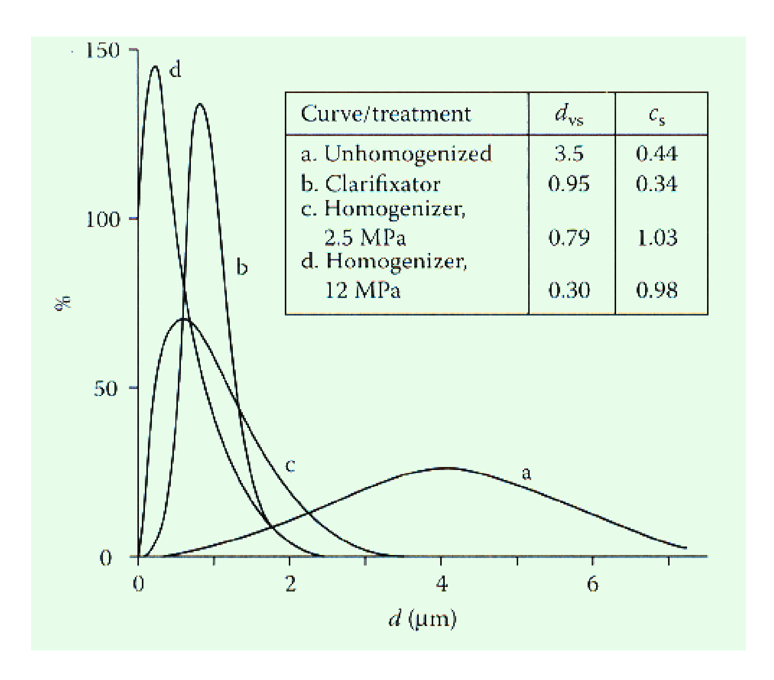
40	20	10	5	0	Homogenization Pressure (MPa)
10	5	2.5	1.2	0	Temperature rise (K)
40	16	6.9	2.8	0.015	Number of fat globules (μm^{-3})
0.21	0.31	0.47	0.72	3.3	d_{vs} (μm)
1.1	1.6	2.3	3.1	9	$d_{\max}$ (μm)[a]
1.3	85	0.56	0.37	0.08	$A\,m^2.ml^{-1}milk)$
0.82	0.83	0.85	0.89	0.44	c_s
0.16	0.36	0.87	2.2	20	$H(\mu m^2)$

ملاحظة ، نتائج تقريبية . انظر تحت فصل 41.3 لتعريف المتغيرات .

a. 99% من الدهن يكون كريات حجمها أقل من $d_{\max}$.

Note: Approximate results. See subsection 3.1.4 for definition of variables.

a. 99% of the fat is in globules of size less than $d_{\max}$.



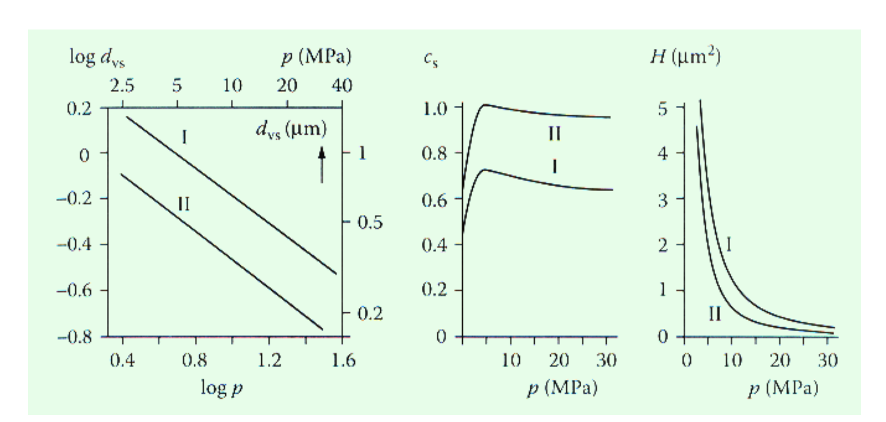
Curve/treatment	d_{vs}	c_s
a. Unhomogenized	3.5	0.44
b. Clarifixator	0.95	0.34
c. Homogenizer, 2.5 MPa	0.79	1.03
d. Homogenizer, 12 MPa	0.30	0.98

شـــكل 4.9 بعض الأمثلة لتوزيع حجم كريات الدهن في اللبن المجنس وغير المجنس . تذبذب الحجم (نسـبة الدهن لكل ميكرومتر صف عرض) كدالة لقطر الكرية

Figure 9.4 some examples of the size distribution of the fat globules in homogenized and unhomogenized milk. Volume frequency (percentage of the fat per micrometer class width) as a function of globule diameter. (Adapted from H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

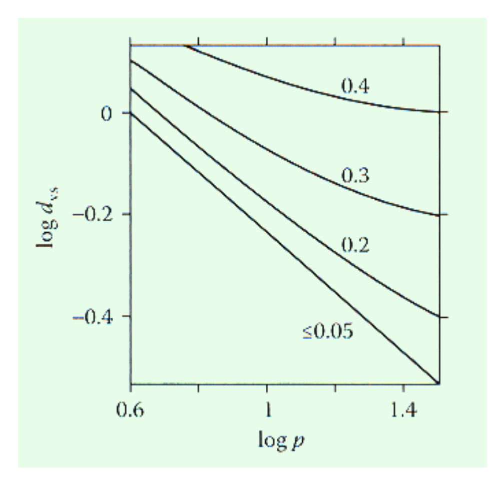
5.9 الطبقات السطحية *Surface layers*

عندما يتم اسـتحلاب زيت الزبدة في اللبن الفرز ثم يتبع ذلك تجنيسـاً (كما في صـناعة اللبن المعاد خلطه) ، تتكون طبقة سـطحية من بروتينات اللبن . شـكل 7.9 يوضـح مكونات وتركيب هذه الطبقة . عندما يجنس اللبن ، الغشـاء الطبيعي على الكريات يمزق ولكن يظل مدمصـاً . تحتوي الطبقة السـطحية لأغلب الكريات في اللبن المجنس على دفعات من الأغشـية الطبيعية . مكونة من 10 إلى 30% من مسـاحة السـطح ، بالإضـافة إلى دفعات أكبر للطبقة السطحية حديثة التكوين .



شكل 5.9 تأثير ضغط التجنيس (P) على متوسط حجم كرية الدهن (d_{vs}) توزيع العرض النسبي C ومؤشر الترسيب (H) لمجنسات I و II

Figure 9.5 Effect of homogenization pressure (p) on average fat globule size (d_{vs}), relative distribution width (c_s), and sedimentation parameter (H) for two homogenizers (I and II). (from H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)



شكل 6.9 تأثير ضغط التجنيس (P بـ MPa) على قطر كرية الدهن d_{vs} (ميكرومتر) في اللبن أو القشدة محتوى الدهن ، معبر عنه ككسر للحجم يوضح بالقرب من المنحنيات

Figure 9.7 Effect of homogenization pressure (p, in MPa) on average fat globule diameter d_{vs} (µm) of milk and cream. The fat content, expressed as volume fraction, is near the curves. (Adapted from P. Walstra and G. Hof, unpublished)

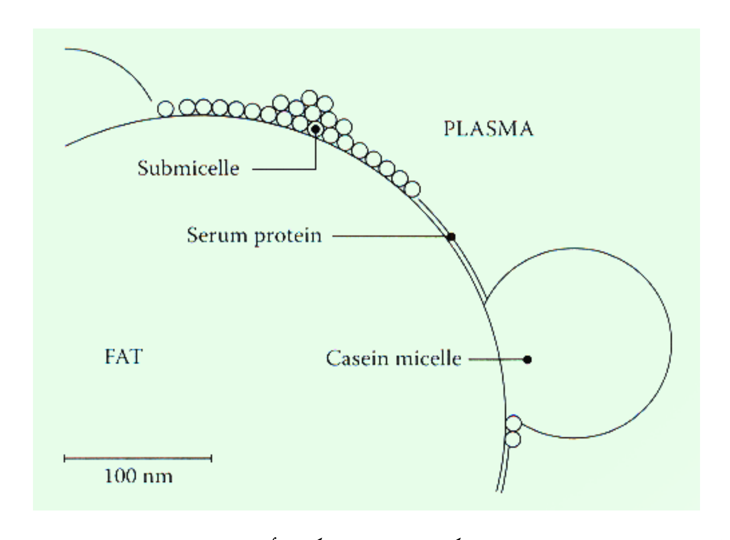
تتركب الطبقة السطحية المتكونة حديثاً من جسيمات الكازين وتكون الجزء الأكبر منها وتحتوي أيضاً على بعض بروتين مصل اللبن . تظهر بعض من الجسيمات على السطح متغيرة عند الادمصاص ، ولكن أغلب الجسيمات يجب أن تنتشر فوق السطح البيني بين الماء والزيت . باستخدام الميكروسكوب الالكتروني ، يمكن أن نلاحظ شظايا جسيمات بجانب طبقة رقيقة (10 إلى 15 نانومتر) ، والتي يمكن أن تتكون من تحت جسيمات الكازين . يحدث الانتشار سريعاً جداً بأزمنة مميزة أقل من واحد ميكروثانية .

يمكن الاستنتاج من نظرية كولموجوروف Kolmogorov theory أن تدفق جزيئات البروتين ناحية كريات الدهن أثناء التجنيس تعتمد كثيراً عل قطر الجزيئات r_p . ويتم حساب العلاقة بين معدل زيادة حمل السطح T وتركيز البروتين c_p بواسطة :

$$dT/dt \alpha\, c_p r(1+r_p/r)^3 \qquad (9.9)$$

حيث r هي قطر القطرة ، العامل في القوسين هو متغير بصورة عالية بالنسبة لجسيمات الكازين ، r_p تتراوح من 20 إلى 150 نانومتر ، لبروتينات المصل ، $r_p=2$ نانومتر ، لكريات الدهن ، r تتراوح من 100 إلى 400 نانومتر ، وهذا يعني أن تكعيب هذا العامل يمكن أن يتراوح بين 1.06 و 8 . أي أكبر من قطرات صغيرة تحيط بجسيمات الكازين الكبيرة ، وهي تساوي واحد لكريات الدهن مع بروتينات المصل والتي لها النتائج الهامة التالية :

1. جسيمات الكازين يحدث لها ادمصاص . يكون الكازين حوالي 80% من بروتينات بلازما اللبن ولكن تكون 93% من البروتين في طبقات السطح الجديدة . ولأن "طبقة الكازين" هي أسمك من طبقة بروتين المصل ، فإن الكازين يغطي 75% من مساحة سطح كريات الدهن تقريباً . تنطبق هذه النتائج على التجنيس عند حوالي $10\,MPa$.
2. الجسيمات الكبيرة يحدث لها ادمصاص فوق الجسيمات الصغيرة .



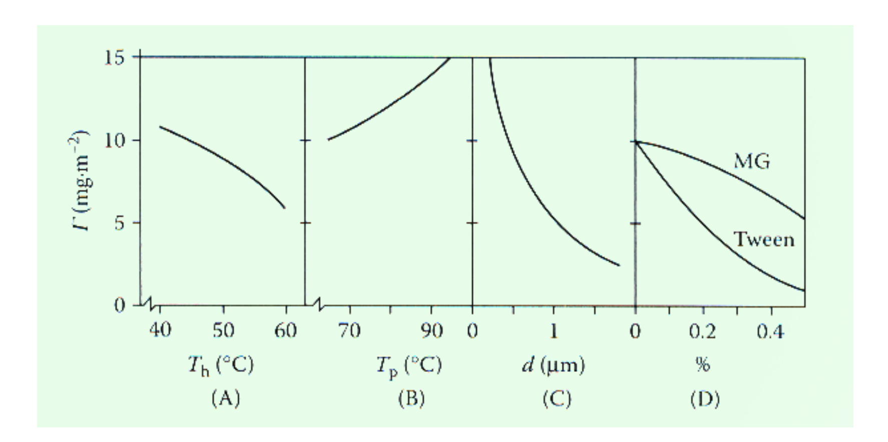
شكل 7.9 طبقة سطحية جديدة لكريات الدهن المتكونة أثناء عملية التجنيس (رسم توضيحي)

Figure 9.7 New surface layer of fat globules formed during homogenization (highly schematic). (From P. Walstra, The milk fat globule: natural and synthetic, *Proceedings XXth Intl. Dairy Cong.*, 1978, 75ST)

3. الفرق في الادمصـــــاص بين جزيئات البروتين يكون الأكبر لكريات الدهن الأصـــغر ، لأن $r_p = r$ لبعض الجسيمات . وهذا يعلل لماذا يكون لكريات الدهن الصغيرة طبقة بروتين أسمك من الكريات الكبيرة (انظر شكل C 8.9) . عندما يكون ضغط التجنيس مرتفعاً جداً (ولنقل أكبر من $30 PaM$) ، فإن طبقات السطح المتكونة تكون خالية من بروتين المصل .

متوسط تقريبي لـ Γ في اللبن المجنس هو 10 مليجرام.متر$^{-2}$. الآتي أيضاً العوامل التي تؤثر على Γ :

1. درجة حرارة التجنيس : فسرت درجة حرارة التجنيس بواسطة الانتشار الأكثر سرعة لجسيمات الكـازين فـوق السـطح البـيني دهـن - مـاء عـنـد درجـة حـرارة أعـلى (70 درجـة مئويـة) منـه عنـد درجـة حرارة أقـل (40 درجـة مئويـة) والـذي يقلـل من قيمـة Γ (شكل A 8.9) .



شكل 8.9 تأثير متغيرات عملية تصنيعية معينة على بروتين الحمل السطحي T لكريات الدهن في اللبن (أو القشدة) . ضغط التجنيس هو حوالي $10PaM$ أمثلة تقريبية (A) درجة حرارة التجنيس (Tp هو 70 درجة مئوية) (B) درجة حرارة البسترة ، تسخين أثناء 10 دقائق (T_h هو 40 درجة مئوية) (C) قطر كرية الدهن . وهي تخص الكريات في عينة واحدة للبن المجنس . (D) إضافة التوين الذائب في الماء أو مواد نشطة السطح الذائب في الزيت (جلسريدات أحادية) إلى 12% قشدة الدهن قبل التجنيس

Figure 9.8 Effect of certain process variables on the protein surface load Γ of the fat globules in milk (or cream). Homogenization temperature (T_p was 70°C). (B) Pasteurization temperature, heating during 10 min (T_b was 40°C). Fat globule diameter. It concerns golobule diameter. It concerns globules in one sample of homogenized milk. (D) Addition of a water-soluble (Tween) or an oil-soluble (monoglycerides, MG) surfactant to 12% fat cream before homogenizing

2. الحالة قبل التسخين : مثلاً مدة 20 دقيقة عند 80 درجة مئوية ، وهذه تسبب تجمع بروتينات المصل مع جسيمات الكازين . وتؤدي بالتالي إلى زيادة قيمة Γ (انظر شكل 8.9 B) . لأن تكون طبقة رقيقة في المكان من بروتينات المصل لا يمكن حدوثه .

3. حجم جسيمات الكازين : في اللبن المبخر يمكن أن تندمج جسيمات الكازين وتكون جسيمات أكبر . وهذا أيضاً يسبب زيادة لقيمة Γ .

في بعض منتجات القشـــدة ، جزيئات صـــغيرة من مواد نشـــطة الســـطح Surfactant مثل التوينات Tweens أو الجليســـريدات الأحادية Monoglycerides تضـــاف في بعض الحالات قبل عملية التجنيس ، هذه يتم ادمصـــاصـــها على كريات ممزقة وبذلك تقلل حمل بروتين الســـطح ، كما هو موضـــح في شـــكل 8.9 D . وهذا لأن هذه المواد نشـــطة الســـطح تقلل عادة التوتر الســـطحي البيني أكثر مما يفعل البروتين . وعلى ذلك يتم ادمصـــاصـــها تفضـــيلياً . بعض المواد نشـــطة الســـطح مثل التوينات يمكن أيضـــاً أن تحل محل البروتينات عندما تضـاف بعد التجنيس . إحلال البروتينات يميل إلى التأثير على أنواع عديدة من عدم الثباتية الفيزيائية للكريات (انظر الفصـــل التالي) وكما ذكر ســـابقاً فإن الأضـــافة قبل التجنيس ينتج عنها كريات أصغر .

6.9 الثبات شبه الغروي ***Colloidal Stability***

يغطي بروتين البلازما والغالب فيه الكازين ، جزءاً كبيراً (حوالي 90% وفي اللبن المخلوط 100%) من مســـاحة ســـطح كريات الدهن المجنســـة . وهذا يجعل الكريات تســـلك ســـلوك جســـيمات الكازين الكبيرة . أي تفاعل يسـبب تجمع جسـيمات الكازين مثل التنفيح ، التحميض ، أو التسـخين عند درجات حرارة عالية سـوف يسـبب أيضـاً تجنيس كريات الدهن كي تتجمع . وبالإضـــافة إلى ذلك ، فالتجمع ســـوف يحدث بســـرعة أكبر لأن التجنيس يزيد تركيز الكازين الظاهر (أي تركيز الكازين المؤثر في التجمع) وهذا تم مناقشـــته في تحت فصـــل 3.1.3 . التأثير يكون أقوى عندما يكون محتوى الدهن وضغط التجنيس عاليين (انظر شكل 9.9) .

بعض النتائج الهامة لطبقة السطح المتغيرة كالتالي :

1. الثباتية الحرارية تقل . كما هو موضـح في شـكل 9.9 وهذا سـوف يتم مناقشـته في تحت فصـل 2.1.17 . من الجوانب المتعلقة بهذا الموضـــوع هو التأثير على ســـلوك القشـــدة في القهوة Feathering of Cream in Coffee (تحت فصـــل 3.1.17) إضـــافة جزيئات صـــغيرة

من مواد نشطة السطح قبل التجنيس يمكن أن يزيد الثباتية للتجبن بالحرارة (انظر أيضاً شكل D 8.9) .

2. كريات دهن اللبن المجنس عادة ما تظهر ثباتاً عالياً ناحية التجمع الجزئي ، لأنها تكون صغيرة للغاية . إلا أن طبقات السطح التي تتكون بالكامل من بروتين البلازما تعطي ثباتية عالية جداً للجزيئات . إضافة المواد نشطة السطح (التي تزيح البروتين عن السطح بين الزيت–الماء ، انظر شكل D 8.9) يمكن أن تقلل من الثباتية للتجمع الجزئي ، وهذا يلعب دوراً في منتج مثل الآيس كريم (فصل 3.17) .

3. المنتجات المحمضة (المخمرة مثل الزبادي والقشدة المحمضة) والجبن المصنوع من اللبن المجنس (أو القشدة) لها خواص ريولوجية مختلفة عن اللبن غير المجنس . وهذا سببه أن كريات الدهن أصبحت جزءاً من شبكة الكازين . مثال ذلك تم توضيحه في شكل 5.22 .

7.9 العناقيد المجنسة *Homogenization Clusters*

عادة ما يسبب تجنيس القشدة زيادة لزوجتها إلى حد كبير ، كما هو موضح في جدول 2.9 . أوضح الفحص الميكروسكوبي تجمعات كريات دهن كبيرة بالإضافة إلى كريات مفردة في القشدة المجنسة . هذه ما تسمى بعناقيد مجنسة تحتوي على كريات دهن كثيرة جداً ، وتصل إلى حوالي 10^5 . ولأن العناقيد تحتوي على سائل بيني ، يزداد كسر الحجم الفعال للجزيئات في القشدة ، وعلى ذلك أيضاً تزداد لزوجتها . إضافة جسيمات كازين–عوامل مذيبة يمكن أن يفرق العناقيد ، وبمعنى آخر ،كريات الدهن في العنقود يكون متصلاً مع جسيمات الكازين .

يمكن شرح تكوين العناقيد المجنسة كالتالي : أثناء التجنيس ، عندما تلتحم كرية دهن مع كرية أخرى مغطاة بجسيمات كازين . يمكن أيضاً أن يصل مثل هذا الجسيم إلى سطح الكرية المتكونة . ونتيجة لذلك كلتا الكرتان تتصلان بواسطة قنطرة ويكونان عنقوداً مجنساً (انظر شكل 3.9 السطر 5 وشكل 11.3) . العنقود سوف يتكسر ثانية بواسطة اضطراب دوامي (شكل 3.9 السطر 6) . إذا توفر بروتين قليل ليغطي بالكامل سطح الدهن ، تتكون عناقيد من كريات دهن

تكون تواً خارج فتحة صمام المجنس ، حيث تكون قوة الكثافة منخفضة للغاية لكي تمزق العناقيد ثانية .

وبمعنى آخر ، يمكن أن يحدث تكوين العناقيد إذا Cp (= تركيز البروتين بالكيلوجرام.متر-3) كانت أقل من $A\Delta\Gamma$ (Γ = حمل السطح الذي نحصل عليه عند φ منخفضة ، بالكيلوجرام.متر-2 ، $A\Delta$ = الزيادة في مساحة السطح بـ $m^{-3}.m^2$) ؛ ($A\Delta = \frac{\varphi 6}{d_{vs}}$) φ = كسر حجم الدهن) ومن الواضح أن الظروف التالية تسمح بتكوين العناقيد المجنسة :

1. محتوى دهني عالٍ .
2. محتوى بروتيني منخفض .
3. ضغط تجنيس عالٍ .
4. حمل سطح نسبي عالي للبروتين ، يفرز بدرجة حرارة تجنيس منخفضة (انتشار سريع أقل لجسيمات الكازين) ، قبل تسخين شديد (بروتين مصل قليل متاح للادمصاص) وضغط تجنيس عالٍ (انظر شكل 8.9) .

تحت ظروف عملية تكون العناقيد نتيجة للتجنيس لا يحدث في قشدة تحتوي على أقل من 9% دهن ، بينما هي شائعة الحدوث في قشدة تحتوي على أعلى من 18% دهن .
عند محتوى دهني متوسط ، يعتمد تكوين العناقيد بقوة على ضغط ودرجة حرارة التجنيس (انظر أيضاً تحت فصل 4.1.17) .

يمكن أن تمزق العناقيد ثانية إلى حد كبير (ولكن ليس بالكامل) في مجنس ذي مرحلتين (جدول 2.9) في المرحلة الثانية ، تكون شدة الاضطرابات منخفضة لحد تمزيق الكريات وتكوين عناقيد جديدة ، بينما يحدث تمزيق للعناقيد الموجودة ، ويكون هذا مصحوباً ببعض الالتحامات ، يكون التجنيس على مرحلتين للقشدة عالية الدهن (أي 30% دهن) غير كافٍ لتكسير عناقيد التجنيس .

8.9 التقشيد *Creaming*

الغرض الهام من التجنيس عامة ، هو أن نبطئ التقشـيد ، وبالتالي نمنع الالتحام الجزئي . ويتم هذا بواسـطة تقليل حجم كريات الدهن . وطبقاً لذلك فالعوامل المؤثرة على هذا الخفض تؤثر كثيراً على معدل التقشـيد (انظر شـكل 5.9 وشـكل 11.9) . يحسـب تأثير حجم كريات الدهن على معدل التقشيد بواسطة المؤشر H :

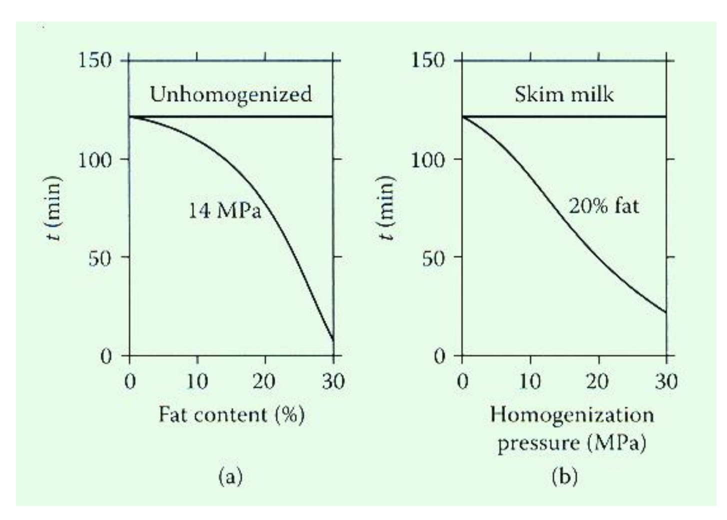
$$H = \Sigma n_i d_i^5 / \Sigma n_i d_i^3 \qquad (9.10)$$

حيث h,n هي عدد وحجم الكريات على الترتيب ، تسـهم الكريات الأكبر في H وهذا يوضـح لماذا توزيع عرض الحجم يمكن أن يؤثر بصورة واضحة على H . تؤدي المجنسات المختلفة إلى نتائج مختلفة (شكل 5.9) .

سـرعة سـتوكس Stokes velocity (معادلة 16.3) يمكن أن تسـتخدم لحسـاب المعدل الابتدائي لارتفاع القشدة في منتج . جدول 3.9 يعطي بعض الأمثلة ، العلاقة هي :

$$9 = 47.10^{-5}(\rho_p - \rho_f)H / \eta_p h \qquad (9.11)$$

حيث q هي نسـبة الدهن في اللبن التي تصـل طبقة القشـدة لكل يوم ، h هي ارتفاع الوعاء بالسـنتيمتر ، H تميز بالميكرومتر^2 ، و η,P بالوحدات القياسـية الدولية . ولكن عادة ما يكون معدل التقشـيد أبطء لأن (1) سـرعة الكريات تقل نتيجة وجود الكريات الأخرى ، كلما زادت في العدد يرتفع محتوى الدهن (2) تزيد الطبقة البروتينية التي تغطي كريات الدهن بعد التجنيس كثافة الكرية ، و (3) قيمة H تحت طبقة القشـدة تقل بالتدريج أثناء التقشـيد لأنه كلما كبرت الكرية ، فإنها تصـل طبقة القشـدة أولاً . يعطي جدول 3.9 ايضـاً معدل التقشـيد المحسوب .



شكل 9.9 الوقت (t) اللازم لتجبن اللبن أو القشدة عند 120 درجة مئوية وتأثره بالتجنيس

Figure 9.9 Time (t) needed for coagulation of milk or cream at 120°C as affected by homogenization. (Adapted from B.H. Webb and G.E. Holm, *J. Dairy Sci*., 11, 243, 1928)

جدول 2.9 تأثير مرحلة ومرحلتي تجنيس على تكوين عناقيد التجنيس في القشدة المحتوية على 20% دهن

Table 9.2 Effect of One and Two-Stage Homogenization on Formation of Homogenization Clusters in Cream with 20% Fat

التجنيس[a] Homogenization	الضغط (MPa) Pressure	η^6	العناقيد Clusters
Not لا يوجد	0	1	−
One stage مرحلة واحدة	7	8.9	++
One stage مرحلة واحدة	21	30.1	++++
Two stage مرحلتين	7/21	4.5	+

a درجة حرارة التجنيس = 65 درجة مئوية .

b اللزوجة الظاهرية للمُجَنَس بالنسبة للقشدة غير المجنسة .

المصدر : F.J. Doan, J. Dairy Sci, 12, 211, 1929

a. Homogenization temperature = 65°C.

b. Apparent viscosity of homogenized relative to unhomogenized cream.

Source: F.J. Doan, *J. Dairy Sci*., 12, 211, 1929.

جدول 3.9 معدل التقشيد الابتدائي في بعض المنتجات اللبنية

Table 9.2 Initial Creaming Rate in Some Milk Products[a]

Corrected[b] (% per day)	'Stokes' (% per day)	h (cm)	H (μm^2)	$(\rho_p - \rho_f)/\eta_p$ (ks.m^{-2})	Product
q					
8-40	12-60	20	10-50	50	Pasteurized milk[c]
0.5-1.1	0.8-1.7	20	0.8-1.5	50	Homogenized milk
~0.2	~0.4	20	~0.4	40	UHT milk
~0.1	~0.4	5	~0.4	10	Evaporated milk
0.04-0.12	0.1-0.3	5	4[d]-50	0.2-0.07	Sweetened condensed milk

a Approximate values of the Percentage of the fat reaching the cream layer per day (*q*). Creaming of unclustered globules at 20°C in a bottle or tin of height *h*.
b For the influence of fat content and protein layers.
c Unhomogenized.
d Slightly homogenized.

إذن أُخذت العوامل الأخيرة في الاعتبار . عادة يعتمد مدى التقشـــيد أيضـــاً كثيراً على درجة الحرارة (انظر شكل B 2.8) وعلى التوزيعات المحتملة التي يحدثها التقليب أو تيارات الحمل . ومن المعلوم أن التقشـــيد ســـوف يكون أســـرع عندما تتجمع الكريات ، وأســـباب التجمع هي كالتالي :

1. التخثر البـارد Cold agglutination : لا تســـتطيع كريات الـدهن في أغلـب المنتجـات المجنســـة أن تكون نـدفاً floccule في البـارد ، لأن التخثر على البـارد يمكن أن تثبط بالمعاملة الحرارية (شكل D 9.7) وبواسطة التجنيس (فصل 9.9) انظر فصل 10.9 للتجنيس الجزئي .
2. العناقيد المجنسة : وهذه نادراً ما تتكون ماعدا أثناء تجنيس القشدة .
3. التســـخين عند درجات حرارة عالية (التعقيم) : وهذا يمكن أن يســـبب تكون عناقيد كريات دهن مجنسة ، وخاصة في اللبن المبخر ، ويكون هذا تجبناً حرارياً ابتدائياً .

9.9 تأثيرات أخرى للتجنيس *Other Effects of Homogenization*

يســـرع اللبن المجنس الذي يحتوي على الليبيز lipase بقوة التحلل الدهني (تحت فصـــل 5.2.3) اللبن الخام يحدث له تزنخ في خلال دقائق قليلة بعد التجنيس (انظر شـــكل A 10.9) وهذا يمكن شـــرحه بواســـطة قدرة الليبيز البروتيني الدهني على اختراق الغشـــاء المتكون بواســـطة التجنيس ولكن لا يخترق الغشـاء الطبيعي . وعلى ذلك ، يجب تجنب تجنيس اللبن الخام ، أو يجب أن يبستر اللبن في الحال بعد التجنيس بطريقة تثبط الليبيز ، يتم التجنيس عادة قبل البسترة لأنه في المجنس يمكن أن يتلوث اللبن بالبكتيريا . بالإضـــافة إلى ذلك ، يجب منع خلط اللبن المجنس مع اللبن الخام مرة ثانية لكي نتجنب تحلل الدهن (انظر شكل B 10.9) .

لتجنيس اللبن عدة تأثيرات أخرى :

1. يصبح اللون أكثر بياضاً (فصل 6.4) .
2. تزداد القابلية لتكوين الرغوة إلى حد ما .
3. انخفاض الأكســـدة الذاتية للدهن ، ومن ثم انخفاض تكوين نكهة غير مرغوبة (تحت فصـــل 4.3.2) .
4. تخســـر كريات الدهن قدرتها على التخثر عند التبريد (تحت فصـــل 2.4.2.3) . وهذا يســـبب تثبيط الأجلوتينين البارد بالإضـــافة إلى تغيير كريات الدهن ، التجنيس عند ضـــغط منخفض (واحـــد *PaM*) يكفي . الأجلوتينـــات (*IgM*) للبكتيريـــا (مثـــل لاكتوكوكس لاكتيس *Lactococcus lactis* spp) تســـتطيع أن تثبط أيضـــاً . ولكي يحدث ذلك فإنه يحتاج إلى ضغط أعلى أي *PaM*10 .

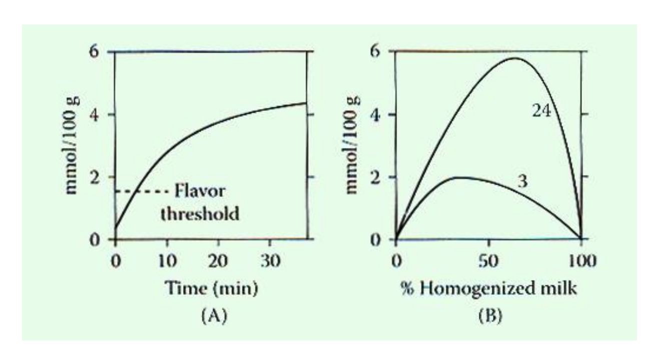
شـــكل 11.9 يلخص تأثيرات متغيرات العملية والمنتج على بعض خواص المنتجات المجنســـة ، وجدول 4.9 يقارن خواص الأنواع المختلفة لكريات الدهن .

10.9 طرق أخرى للعمل *Other Ways of Working*

يستخدم التجنيس الجزئي لتوفير الطاقة والمعدات (المجنس الكبير آلة مكلفة جداً وتستهلك طاقة كبيرة) . يفصل اللبن إلى لبن فرز وقشدة . وتجنس القشدة وتخلط مع اللبن المفصول . جانبان يجب مناقشتهما وهما كالتالي :

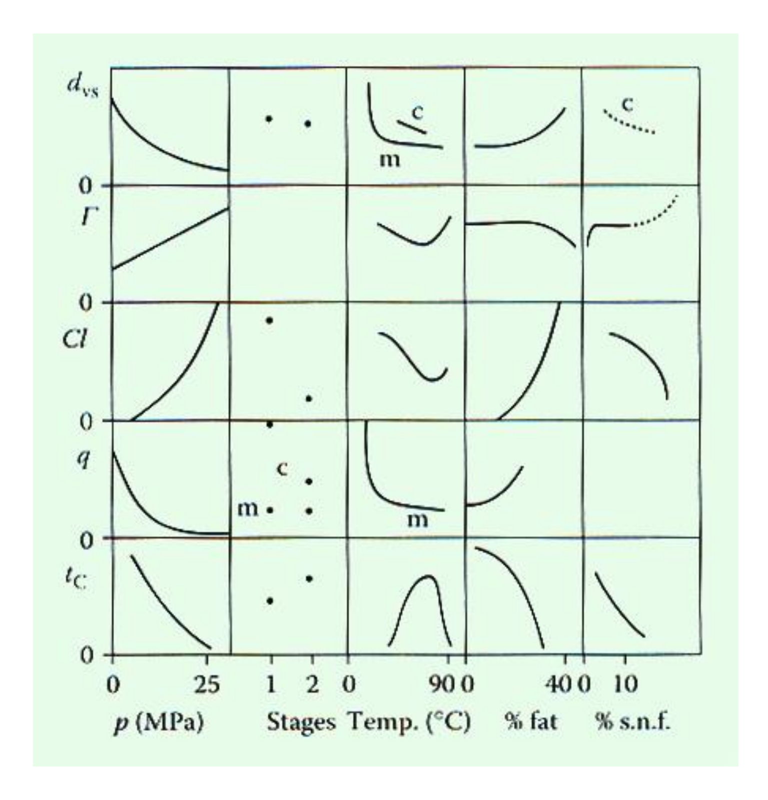
1. الأجلوتينين في اللبن الفرز لا يثبط بواسطة التجنيس وعلى ذلك عندما تطبق البسترة المنخفضة ، يمكن أن يحدث تخثر على البارد إلى حد ما والذي يسرع التقشيد .
2. إذا كان محتوى الدهن في القشـــدة عالياً (أكثر من 10%) فإنه يتم تكوين عناقيد تجنيس ، وينتج عن ذلك تقشيد سريع ولكن Γ يمكن أن تظل صغيرة يجعل درجة حرارة التجنيس عالية أي 70 درجة مئوية (انظر شـكل 8.9 A) ونتيجة لذلك حتى في القشـدة المحتوية على 14% أو 15% دهن ، تكون العناقيد يُمنع باستخدام تجنيس على مرحلتين .

تم تصميم أنواع أخرى عديدة من الآلات لتجنيس اللبن ، ولكن بنجاح قليل ، وفي بعض الأوقات فاصل اللبن المسمى "clarifixator" يستخدم في فصل اللبن ، القشدة الغروية مع عوائق تبرز من قشدة مصخة الطرد المركزي . ولذلك تتعرض لاضطرابات شديدة ، والتي تسبب انخفاض حجم كريات الدهن . وبالتالي ، يرجع القشدة إلى تيار اللبن . بعد انخفاض حجم كريات الدهن ، فإنها تهرب الفصـــل وتفرغ في خط اللبن المفصـــول ، والتي توزع اللبن المجنس بجانب اللبن الفرز ، يكون توزيع حجم كريات الدهن ضيقاً جداً ، ولكن متوسط الحجم ليس صغيراً جداً (انظر شكل 4.9) .



شـــكل 10.9 تأثير التجنيس على تحلل الدهن ، معبراً عنه بحموضـــة الدهن (ميليمول لكل 100 جرام من الدهن) (A) لبن خام مجنس عند 37 درجة مئوية ؛ حموضـة الدهن كدالة عن الوقت بعد التجنيس (B) مخلوط من اللبن الخام واللبن المبستر المجنس ، حموضة الدهن بعد 3 ساعات و24 ساعة عند 15 درجة مئوية

Figure 9.10 Influence of homogenization on lipolysis, expressed as acidity of the fat (in mmol per 100 g of fat). (A) Raw milk homogenized at 37°C; fat acidity as a function of time after homogenization. (B) Mixtures of raw milk and homogenized pasteurized milk; fat acidity after 3 h and 24 h at 15°C. (Adapted from A. Jellema, unpublished)



شـكل 11.9 تأثيرات الظروف أثناء التجنيس (P= ضـغط التجنيس) على خواص المنتج m: للبن فقط ، c: قشـدة) d_{vs} = حجم سطح متوسط قطر كريات الدهن ، Γ = حمل سطح البروتين ، Cl = عناقيد التجنيس في القشـدة ، q = معدل التقشـيد ، t_c = الوقت اللازم لتجبن القشـدة بالحرارة ، رسـم تخطيطي ، الخطوط المكسرة تعني أنها غير مؤكدة ، التجنيس عند 70 درجة مئوية بعد قبل تسخين عند درجة حرارة عالية ، عادة يؤدي إلى نتائج مشابهة للتجنيس المباشر عند درجة 90 درجة مئوية

Figure 9.11 Effects of conditions during homogenization (p = homogenization pressure) on product properties (m: only for milk, c: cream). d_{vs} = volume/surface average diameter of the fat globules; Γ = protein surface load; Cl = homogenization clusters in cream; q = creaming rate; t_c = time needed for heat coagulation of cream. Highly schematic. Broken lines are less certain. Homogenization at, for instance, 70°C after preheating at high temperature, often leads to a result similar to that of direct homogenization at 90°C

جدول **4.9** مقارنة خصائص كريات الدهن في اللبن المعاد تكوينه R وغير المجنس (N) والمجنس (H)

Table 9.4 Comparison of the Properties of the Fat Globules in Nonhomogenized (N), Homogenized (H), and Recombined ® Milk

R	H	N	Properties الخواص
			size distribution توزيع الحجم
$= H$	1-0.2	5-3	متوسط قطر d_{vs} (ميكرومتر) Average Diameter $d_{vs}(u)$
$= H$	34-7	2.2-1.5	مساحة السطح (متر^2/جرام دهن) Surface area (m^2/g) fat
			Fat crystalization تبلور الدهن
$= H$	33-25	- 20	التبريد المنخفض المطلوب (K) Undercooling needed (K)
بروتين البلازما Plasma protein	الاثنان both	بروتين دهني Lipoprotein	Surface layers طبقات السطح Main component
0	30-5	- 100	Natural membrane (%of area) غشـــاء طبيعي
$<H$	$<N$	معتبر	تغيرات أحدثتها المعاملة Changes caused by processing
			التغيرات في الانتشار Changes in dispersity
$= H$	$<<N$	نعم	Cold agglutination تخثر بارد
نعم	نعم	لا	تجمع عند أس هيدروجيني منخفض Aggregation at low pH
ننعم	نعم	لا	تجبن بالحرارة
$<H$	$<<N$	محتمل	Coalescence التحام
$= H$	$<N$	محتمل	Partial coalescence التحام جزئي
$= H$	$<<N$	ممكن	Disruption of globules تمزيق الكريات
			Off-flavor formation تكوين النكهة
$> H$	$>>N$	قليل	Lipolysis تحلل الدهن
$< H?$	$<< N$	Prone عرضه	Autox idation أكسدة ذاتية
بصعوبة	$< N$	Prone عرضه	Cooked flavor (H_2s, etc) نكهة مطبوخة

Suggested Literature **مراجع مقترحة**

التجنيس (تم معالجته في فصل 9 و 10)

H. Mulder and P. Walstra, The Milk Fat Globule, Pudoc, Wageningen, 1974.

جوانب أساسية للاستحلاب (فصل 2) .

P. Walstra, Formation of Emulsions, in P.Becher, Ed., Encyclopedia of Emulsion Technolohy, vol.1, Dekker, New York, 1983;P. Walstra and P.Smulders, Emulsion formation, in B.P.Binks, Ed., Modern Aspects of Emulsion Science, Royal Soc. Chem., Cambridge, 1998.

تأثيرات تجنيس اللبن

P. Walstra, Neth. Milk Dairy J., 29, 279-294, 1975.

10 عمليات التركيز *Concentration Processes*

1.10 جوانب عامة *General aspects*

اللبن ، اللبن الفرز ، الشـــرش ، ومنتجات ألبان أخرى يمكن أن تركّز ، بمعنى أن جزءاً من الماء يمكن أن يزال ، الغرض الأساسي هو إنقاص الحجم وتحسين القابلية للحفظ .

يمكن أن يزال الماء من اللبن بواسطة التبخير ، بالإضـافة إلى الماء يمكن إزالة المواد المتطايرة وخاصـــة الغازات الذائبة . التبخير عادة ما يكون تحت ضـــغط منخفض ، ومن ثم درجة حرارة منخفضـــة ، لتمنع الفقد الذي يســـببه التجنيس . يمكن أيضـــاً أن يزال الماء بواســـطة الإسموزية العكسـية ، أي أنه يسـتخدم ضـغط عالي على سـائل لكي يمر ماؤه خلال غشـاء مناسـب (انظر فصـــــل 3.12) . المـاء وكـذلـك جزء من بعض المواد ذات الوزن الجزيئي المنخفض تمر خلال الغشاء . طريقة مختلفة للتركيز هي بواسطة التجميد (انظر فصل 2.11) كلما زادت بلورات الثلج ، كلما ارتفع المحتوى من المادة الصلبة في السائل المتبقي . إزالة الماء إلى مستوى منخفض لدرجة أن المنتج يصبح شبه صلب ، يسمى التجفيف ، يحدث التجفيف عادة بواسطة تبخير الماء من اللبن المركز .

1.1.10 تركيز المادة المذابة *Concentration of Solutes*

درجة التركيز يمكن أن تعرف بعامل التركيز Q ، أي أن نســـبة محتوى المادة الصـــلبة للمنتج المركز (D) إلى تلـك الموجودة في المـادة الخـام (D_1) . وعلى ذلـك تكون كتلـة المنتج المركز $1/Q$ مرة من الكتلـة قبـل التركيز . يزداد تركيز المـادة المـذابـة في المـاء أكثر مع Q . ولنأخذ تركيز مادة بالنســبة لكمية الماء (أي بالجرامات لكل 100 جرام من الماء) ، ويكون تركيزها كالتالي :

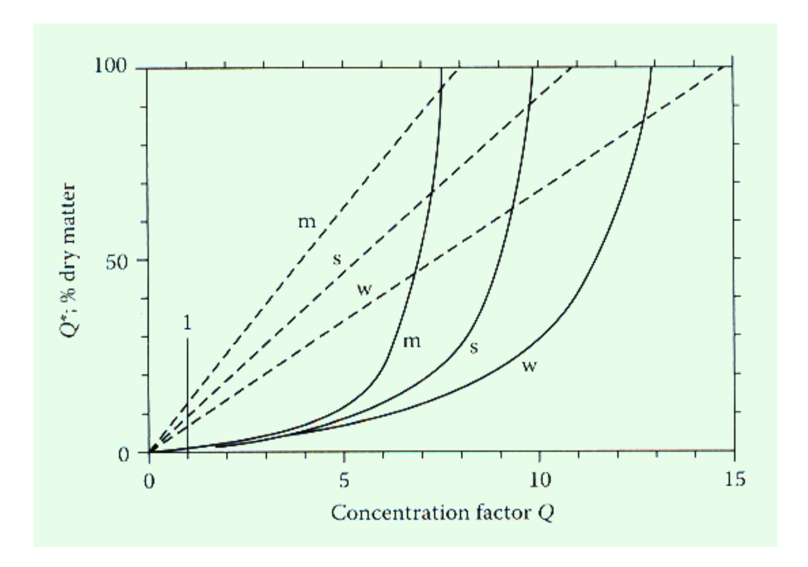
$$Q^* = Q(1-D_1)/(1-QD_1) = D(1-D_1)/D_1(1-D) \qquad (10.1)$$

حيث D, D_1 معبراً عنها كجزء من الكتلة . شكل 1.10 يوضح العلاقة التقريبية بين Q ، Q^* و D للبن ، واللبن الفرز ، والشرش . Q^* تكون كبيرة عندما تقترب D من 100% .

أثناء التركيز ، يمكن أن تصل بعض المواد لدرجة فوق التشبع ويمكن أن تترسب بعد البلورة . يكون اللبن مشبعاً بالنسبة لفوسفات الكالسيوم وكنتيجة للتركيز فإن كمية الفوسفات المرتبطة مع جسيمات الكازين تزداد . فيصبح اللاكتوز مركزاً في اللبن . عند درجة حرارة الغرفة عندما تكون $Q = 2.8$. ولكن من السهل أن يصل لدرجة فوق التشبع . ومن المحتمل ألا يصبح اللاكتوز متبلوراً إذا تم تركيز اللبن بسرعة (كما في المجفف بالرذاذ) إلى محتوى مائي منخفض .

كذلك بالنسبة لمواد تبقى مركزة في المحلول ، سوف لا يكون النشاط الديناميكي الحراري دائماً متناسباً مع Q^* . لأغلب الأنواع غير الأيونية ، يزداد معامل النشاط مع نقص المحتوى المائي ، والذي يقتضي أن ذوبانها يقل ، بالنسبة للأيونات ، تسبب زيادة القوة الأيونية نقصاً لمعامل النشاط . وبسبب ذلك ، يزداد التأين وذوبان الأملاح (انظر تحت فصل 2.2.2) .

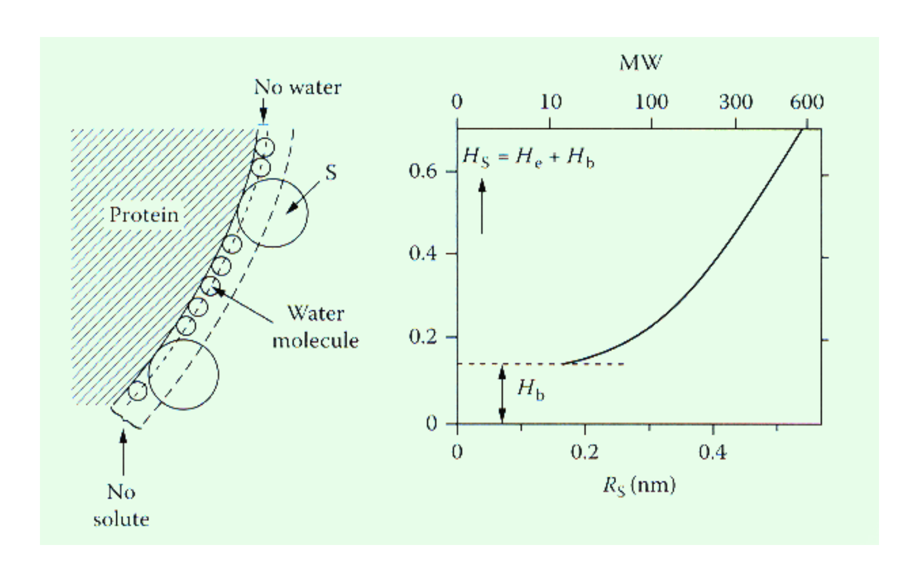
أحد الأسباب لكي يصبح نشاط المذاب أعلى من Q^* المناظرة هي أن جزءاً من الماء يكون غير متوفر كمذيب ، والذي يمكن أن يسمى بالماء المرتبط (غير المذيب Nonsolvent water ، يكون جزء صغير من الماء مرتبطاً بقوة (مثل ماء البلمرة أو الموجود داخل كرية جزيء البروتين) والتي لا تستطيع أن تكون متوفرة كمذيب . ولكن الادمصاص السالب للمادة المذابة على سطح موجود (مثل سطوح البروتينات يمكن أن تكون أكثر أهمية) مساحة السطح المعين لبروتينات اللبن تكون كبيرة أي 10^3 متر^2.جرام$^{-1}$ للكازين (تحت جسيمات) في اللبن ، ولذلك يكون التأثير واضحاً ، تبدي مواد مذابة عديدة وخاصة السكريات ، ادمصاصاً سالباً . (شكل 2.10) يوضح أن الظاهرة يمكن أن تفسر بواسطة الإبعاد الحجمي Steric Exclusion أي أن جزيئات المذاب الأكبر من جزيئات الماء يجب أن تبعد بعيداً عن سطح جزيئات البروتين ، وعلى ذلك تترك طبقة من الماء والتي تكون خالية من المادة المذابة . وهذا يفسر لماذا تزداد عامة كمية الماء غير المذيب مع حجم جزيء المادة المذابة ، كما موضح في شكل 2.10 .



شكل 1.10 نسبة المادة الجافة (...) والزيادة النسبية في تركيز المواد بالنسبة للماء (Q^*) (–). كدالة عن معامل التركيز Q للبن (m) واللبن الفرز (S) والشرش (W) لمكون متوسط

Figure 10.1 Percentage of dry matter (---) and relative increase in concentration of substances relative to water (Q^*) (–), as a function of the concentration factor Q for milk (m), skim milk (s), and whey (w) of average composition

معلومات عن كمية الماء المرتبط لجزيئات المادة المذابة يسمح بتحويل التركيزات في اللبن إلى تركيزات من البلازما ، المصل ومنتجات أخرى ، الصيغ تم توضيحها في جدول 1.10 . عادة ، يكون التأثير قليلاً بالنسبة للجزيئات الصغيرة ، ولكن يمكن أن يكون واضحاً للجزيئات الكبيرة ، فمثلاً محتوى من اللاكتوز قدره 46 جرام لكل كيلوجرام لبن ، يعادل 541 جرام لاكتوز لكل كيلوجرام ماء متاح . كمية من بروتينات المصل قدرها 6 جرام لكل كيلوجرام لبن تعطي 7 جرام بروتينات لكل كيلوجرام مصل ، ولكن عندما تتكلم عن $h = 0$ ، فإن ذلك سوف يؤدي إلى 6.45 جرام بروتينات مصل لكل كيلوجرام مصل ، أي بخطأ يقدر بحوالي 8% .



شكل 2.10 الإبعاد الحجمي لجزيئات المادة المذابة (S) عند سطح مثل جزيء البروتين . الناحية اليسرى ، شرح تخطيطي . الناحية اليمنى ، الماء ليس متاحاً كمذيب لـ S (Hs بالجرام لكل جرام بروتين) . تتكون من الماء المستبعد (He) والماء المرتبط (Hb) كدالة عن القطر Rs لجزيئات المادة المذابة . مقياس رسم الكتلة المولارية للمادة المذابة يكون تقريبي

Figure 10.2 Steric exclusion of solute molecules (S) at a surface, e.g., of a protein particle. Left: diagrammatic explanation. Right: water not available as a solvent for S (H_s, in g per gram of protein), consisting of excluded (H_e) and bound water (H_b) as a function of radius R_s of the solute molecule. The scale of the molar mass of the solute is approximate. (Adapted from P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984)

ما ذكر سابقاً يطبق فقط إذا لم يكن هناك ادمصاص (حقيقي) على سطح كريات الدهن أو جسيمات الكازين . بعض البروتينات (الليبيز ، البلازمين) يمكن ادمصاصها على هذه الأسطح الأخيرة . بعض الجلوبيلينات المناعية يمكن ادمصاصها على سطح كريات الدهن (انظر تحت فصل 2.4.2.3) لبروتينات مصل مختلفة ، h تتراوح من 0 إلى 3.4 (الرقم الأخير يشير إلى – Bلاكتوجلوبيلين) .

الماء المرتبط (غير المذيب) يجب أن لا يعتبر كماء مرتبط . فقط جزء صـــغير منه ســوف يرتبط فعلاً بمجموعات معينة ، خاصـــة المجموعات المشـــحونة وثنائية القطبية ؛ وهذا يخص البروتينات، حوالي 0.1 إلى 0.2 جرام ماء لكل جرام بروتين . لا يجب الخلط بين كلا نوعي الماء الماء . والماء المرتبط Held water أو الماء الممتص (المتسـرب) Imbibition water والذي يكون محصـــوراً ميكانيكياً ، فمثلاً يمكن أن تحتوي جســيمات الكازين على أكثر من 3 جرام من الماء المرتبط لكل جرام كازين (انظر تحت فصــل 1.3.3) ، ولكن هذا الماء يتسـرب بحرية داخل وخارج الجســيمات . إذا تم تنفيح اللبن وتكون بناء هلام gel الباراكازين (انظر فصـــل 3.24) كل الماء يحصــر في الهلام ، أي حوالي 40 جرام من الماء لكل جرام من الباراكازين ، حيث يكون هناك ماء مستبعد للاكتوز يقدر بحوالي 0.55 جرام لكل جرام .

2.1.10 النشاط المائي *Water Activity*

إذا انخفض المحتوى المائي للمنتج ، فإن نشـــاطه المائي (a_w) ينخفض أيضـــاً ، النشـــاط المائي يميز ككســـر في الماء النقي $a_w = 1$. في نظام بدون ماء $a_w = 0$ ، في محلول مثالي $a_w = m_w$ حيث m_w هي الكســر المولي للماء في الســـائل The mole fraction of water in the solution أي أن :

$$m_w = \frac{\text{مولات الماء}}{\text{مولات الماء} + \text{مولات المادة المذابة}} \qquad (10.2)$$

نشرح الآتي ، لماذا في أغلب الحالات تكون $m_v > a_w$:

1. تفكك المركبات أي الأملاح ، تسبب تركيز مولاري عالي لأنواع المادة المذابة .
2. التركيز الفعال للمادة المذابة يزداد بصـورة واضـحة إذا كان الحجم المشـغول كبيراً ، هذا عامل أساسي للمواد التي لها كتلة مولارية عالية بالمقارنة مع الماء .
3. جزء من الماء قد لا يكون متوفراً كمذيب (انظر تحت فصـــل 1.1.10) . والخلاصـــة أن في منتجات اللبن العلاقة a_w تحيد عن m_w خاصة عندما يكون اللبن عالي التركيز .

جدول 1.10 تحويل تركيزات المادة المذابة

Table 10.1 Conversion of Concentrations of Solutes

if ρ_m = density of milk, g/ml كثافة اللبن جرام/مليلتر = ρ_m

ρ_p = density of plasma, g/ml. كثافة البلازما جرام/مليلتر = ρ_p

ρ_s = density of serum, g/ml كثافة المصل جرام/مليلتر = ρ_s

ρ_w = density of water, g/ml كثافة الماء جرام/مليلتر = ρ_w

f = fat content as mass fraction, g/g محتوى الدهن ككسر حجمي جرام/جرام = f

d = dry-matter content as mass fraction, g/g محتوى المادة الصلبة ككسر حجمي جرام/جرام = d

p = protein content as mass fraction, g/g محتوى البروتين ككسر حجمي جرام/جرام = p

c = casein content as mass fraction, g/g محتوى الكازين ككسر حجمي جرام/جرام = c

محتوى المادة المذابة في اللبن ، أو اللبن المركز بالوحدات (جرام ، مول ، مليلتر)/كيلوجرام = x

x = content of solute in milk or concentrated milk, in units (g, mol, ml) per kg

فالمحتوى يكون :

	kg^{-1}		لتر$^{-1}$
في اللبن In Milk	x		$\rho_m x$
في البلازما In plasma	$(f1.02-1)/x$		$(1-1.02F)$
في المصل In serum	$(ch-c108-f1.02-1)/x$		$(ch-c1.08-f1.02-1)/\rho$
بالنسبة للماء Relative to water	$ph-d-1/x$		$(ph-d-1)/\rho_w x$

حيث :

$1.02 =$ معامل لتحويل محتوى الدهن إلى محتوى كريات الدهن .

$1.08 =$ معامل لتحويل محتوى الكازين إلى محتوى جسيمات كازين جافة (يتراوح المعامل بين 1.06 و 1.10) .

$h =$ عامل (بالجرام ماء لكل جرام بروتين) يشـــير إلى كمية الماء المســـتبعد . h تتغير مع الكتلة المولارية للمادة المذابة للجزيئات الصغيرة (مثل ثاني أكسيد الكربون) .

$h = 0.15$ للاكتوز ، $h = 0.55$ لبروتينات المصل ، متوسط $h = 2.6$.

Where

1.02 = factor to convert fat content to content of fat globules.

1.08 = factor to convert casein content to content of dry casein micelles (factor actually ranging from 1.06 to 1.10).

h = factor (in g water/g protein) referring to the amount of nonsolvent water; h varies with molar mass of solute. For small molecules (e.g., CO_2), $h \approx 0.55$; for serum proteins, average $h \approx 2.6$.

يمكن أن يقاس النشاط المائي لمنتج ما لأن a_w تساوي الرطوبة النسبية للهواء في تعادل مع المنتج . وطبقاً لذلك يمكن أن تعين بتحديد الرطوبة النسبية التي عندها لا يمتص أو يطلق الماء في المنتج . وهذه بعض الأمثلة لقيمة a_w للمنتجات اللبنية :

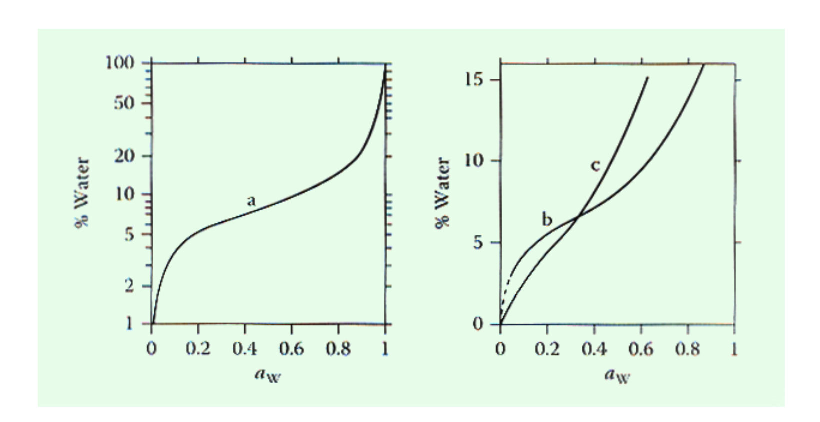
اللبن	0.995
اللبن المبخر	0.986
خليط الآيس كريم	0.97
لبن مكثف محلى	0.83
مسحوق لبن الفرز 4.5% ماء	0.2
مسحوق لبن الفرز 3% ماء	0.1
مسحوق لبن الفرز 1.5% ماء	0.02
جبن	0.98 – 0.94

يجب أن يلاحظ أن a_w لا تعتمد على محتوى الدهن ، اللبن والقشدة واللبن الفرز المنتج منه بواسطة الفصل بالطرد المركزي وجميعها لها نفس قيمة a_w .

أي منتج لـه علاقتـه المميزة بين a_w ومحتوى الماء المتعادل لكل درجة حرارة ، مثل هذه العلاقة تسمى ضغط بخار الماء المتساوي Water vapor pressure isotherm أو Sorption isotherm . شكل 3.10 a يعطي المثال على ذلك ، عند زيادة درجة الحرارة وثبات المحتوى المائي فإن a_w تزداد (انظر شكل 19.10) قيمة a_w لأغلب المتنجات المائية السائلة تكون عالية .

غالباً ما تظهر حالة اضطراب في ضغط البخار المتساوي ، أي يكون هناك اختلافاً ، سواء كان المنحنى تم الحصول عله بانخفاضات متتالية (إطلاق الماء Desorption) أو زيادة قيمة a_w (امتصاص الماء Resorption) . وذلك لأنه لم يصل بعد إلى حالة التعادل ، وبالتأكيد عند محتوى مائي منخفض جداً . من الصعب إزالة الماء المتبقي في المنتج إلا عند درجة حرارة عالية ، حيث سوف تحدث تغيرات أخرى أيضاً . وهذا يقتضي أن النشاط المائي المستخدم يكون غير معروف لأن a_w يشير إلى حالة من التعادل .

هناك تعقيد في اللبن يسببه اللاكتوز . إذا تم تجفيف اللبن ببطء ، فإن ألفا-لاكتوز المائي سوف يتبلور وماء التبلور الموجود يكون من الصعوبة إزالته ، وعلى ذلك فإنه لا يضيف إلى قيمة a_w المقدرة . وهذا يقتضي أن النقطة 0:0 لضغط بخار الماء المتساوي لا تكون مغطاة (شكل b 3.10) إلا أن اللبن المجفف بالرذاذ غالباً ما يعطي مسحوق به لاكتوز غير متبلور . عند محتوى مائي مشابه (أي الماء المتضمن لماء التبلر) المسحوق الأخير يعطي a_w مرتفعة (شكل 3.10 c) . وهذا لأنه في مسحوق اللبن المجفف بالرذاذ أغلب الماء يكون متوفراً كمذيب . إذا أخذ المسحوق الماء تزداد a_w وتتقاطع ضغوط بخار الماء المتساوي c , b (شكل 3.10) ، ومن المحتمل أن ألفا-لاكتوز المهدرج يتبلور . ويسبب هذا ، عند a_w ثابتة (تساوي رطوبة الهواء) المسحوق c سوف يفقد ماء . بالمصادفة في أغلب الطرق المستخدمة لتقدير المحتوى المائي في اللبن المجفف والشرش المجفف ، الجزء الأكبر من ماء التبلور يكون محصوراً في "المادة الجافة" .



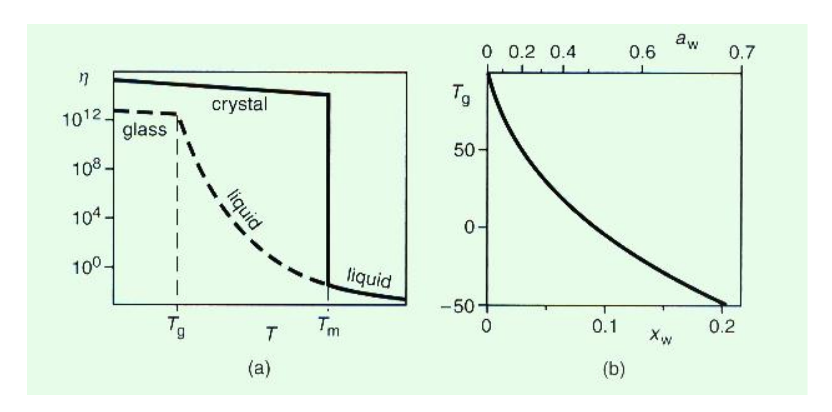
شكل 3.10 ضغوط بخار الماء المتساوي للبن الفرز المركز . (a) منحنى تساوي الحرارة التقريبي . (b) منحنى إطلاق الماء لمسحوق اللبن الفرز مع اللاكتوز في الحالة البلورية . (c) منحنى امتصاص الماء لمسحوق اللبن الفرز مع اللاكتوز في الحالة غير المتبلرة

Figure 10.3 Water sorption isotherms of concentrated skim milk. (a) Approximate isotherm. (b) Desorption isotherm of skim milk powder with lactose in the crystalline state. (c) Resorption isotherm of skim powder with lactose in the amorphous state

3.1.10 التغيرات التي تحدث بالتركيز *Changes Caused by Concentrating*

بجانب الزيادة في أغلب تركيزات المادة المذابة ، يسـبب إزالة الماء من اللبن تغيرات عديدة في الخواص ، والتي غالباً ما تكون متناسبة تقريباً مع Q^* . تعتمد التغيرات أيضاً على ظروف أخرى ، مثل المعاملة الحرارية والتجنيس قبل التركيز . تكون بعض التغيرات الهامة في الخواص على النحو التالي :

1. يقل النشاط المائي : الأمثلة موضحة في شكل 3.10 .
2. الاسترطاب (زيادة شدة امتصاص الماء) يزيد : عادة ما يسمى المنتج الجاف Hygroscopic إذا سببت زيادة صغيرة لـــ a_w زيادة واضحة في المحتوى المائي . ومن الواضح أن هذا يخص مسحوق اللبن مع محتوى مائي قليل جداً (شكل 3.10) .



شـــكل 4.10 التحول إلى زجاج (a) العلاقة التقريبية بين اللزوجة $\eta(Pa.s)$ لمادة ودرجة الحرارة T تحت ظروف التعادل (الخط الصلب) ، وعندما يتكون الزجاج (الخط المتقطع) . وT_g تعني التحول إلى زجاج و T_m نقطة الانصهار (b) العلاقة بين درجة حرارة التحول إلى زجاج بالمئوي والكسـر الحجمي للماء x_w لمخلوط الماء واللاكتوز ؛ النشاط المائي (a_w) أيضاً تم توضيحه

Figure 10.4 Glass transitions. (a) Approximate relation between the viscosity η (Pa . s) of a material and temperature *T*, under equilibrium conditions (solid line), and when a glass is formed (broken line). T_g means glass transition and T_m melting point. (b) Relation between the gass transition temperature (°C) and the mass fraction of water x_w of lactose-water mixtures; the water activity (a_w) at T_g is also given

3. التعادل الملحي يتغير : يزداد نشاط أيونات الكالسيوم فقط ببطء لأن فوسفات الكالسيوم والتي تكون مركزة في اللبن ، تتحول إلى حالة غير ذائبة (انظر تحت فصل 5.2.2) لأن التغيير الأخير الأس الهيدروجيني ، يقل بحوالي 0.3 أو 0.5 وحدة لقيم $Q = 2$ أو 3 على الترتيب . عندما تكون قيمة $Q = 2.5$ ، ينخفض جزء الكالسيوم الموجود في المحلول بحوالي 0.4 أو 0.3 وكلما انخفض المحتوى المائي ، فإن تجمع النوع الأيوني يزداد وكذلك المجموعات الأيونية للبروتين تتعادل .
4. بنية البروتينات تتغير : وهذا يحدث لأن القوة الأيونية والأس الهيدروجيني والتعادلات الملحية الأخرى تتغير . إذا كان اللبن مركزاً للغاية تكون نوعية الإذابة قليلة أيضاً ، والخلاصة ، قابلية جزيئات البروتين للتجمع وازدياد تكون بنية متماسكة . يسبب التحام جسيمات الكازين زيادة في الحجم ، تكون الزيادة أصغر إذا كان اللبن قد تم تسخينه بشدة من قبل . لأن البيتا –لاكتوجلوبيلين وبعض بروتينات المصل الأخرى قد أصبحت مرتبطة مع الكازين .
5. خواص كيموفيزيائية عديدة تتغير : الضغط الأسموزي ، انخفاض نقطة التجمد ، ارتفاع نقطة الغليان ، التوصل الكهربي ، الكثافة ، ومعامل الانكسار جميعها تزداد وبينما التوصيل الحراري يقل .
6. الخواص الريولوجية تتأثر : تزداد اللزوجة (شكل 7.4) ويصبح السائل غير نيوتيني Non-Newtonian وفي النهاية يكون شبه صلب (عند $Q > 9$ للبن الفرز) وهذا يعتمد كثيراً على درجة الحرارة .
7. معاملات الانتشار تقل ، عند محتوى مائي منخفض ، يكون التأثير قوياً للغاية ، معامل انتشار الماء في اللبن يقل من حوالي 10^{-9} متر^2. ثانية$^{-1}$ في اللبن إلى 10^{-16} متر^2.ثانية$^{-1}$ في مسحوق اللبن الفرز الذي به نسبة صغيرة من الماء (انظر شكل 13.10) .

4.1.10 الحالة الزجاجية *The Glassy State*

أي مادة قادرة على التبلور يمكن أن تصل إلى الحالة الزجاجية . وهذا يعني أن المادة تظهر صلبة وهشة ولكن غير متبلورة . كثافة الكتلة تنخفض بشدة عما هو موجود في الشكل البلوري . في الحقيقة ، تكون المادة سائلة ، بالرغم من لزوجتها الفائقة ، والتي تقدر بـ 10^{12} باسكال . ثانية (أي 10^{15} مرة من لزوجة الماء) بزيادة درجة حرارة المادة الزجاجية ، سوف تبدي تحولاً إلى حالة اللزوجة عندما يسمي درجة حرارة التحول إلى الحالة الزجاجية T_g ، فوقهما تقل اللزوجة بقوة درجة الحرارة كما هو موضح في شكل 4.10 a . قيمة T_g لا تكون غير متغيرة ، لأنها تعتمد على التاريخ التكويني والحراري للعينة . تكون درجة حرارة التحول إلى الحالة الزجاجية دائماً منخفضة كثيراً عن درجة حرارة انصهار المادة .

لكي تحول مادة سائلة نقية إلى الحالة الزجاجية ، يجب تبريدها بشدة بسرعة . فمثلاً الماء له $Tg = 137$ درجة مئوية ويجب أن يبرد عند معدل $10^5 K.s^{-1}$ على الأقل لكي نحصل على زجاج لمادة مثل السكر . يمكن أيضاً أن نحصل عليها في محلول – الحالة الزجاجية بإزالة الماء بسرعة كبيرة ، السائل عند ذلك يصبح لزجاً لدرجة أن التبلر يصبح بطيئاً للغاية لكي يحدث قبل أن يتكون الزجاج . هذه اللزوجة العالية يتم الوصول إليها بسرعة إذا كان المحلول يحتوي أيضاً على مواد مذابة أخرى بكميات كبيرة خصوصاً المواد المتبلمرة . إذا جفف اللبن المركز أو الشرش بالرذاذ ، فإنه يمكن الوصول إلى الحالة الزجاجية .

يعطي شكل 4.10 b قيم لـ T_g للاكتوز كدالة للمحتوى المائي والنشاط المائي . اللاكتوز النقي له $Tg = 101$ درجة مئوية و T_m (للألفا المائي) = 214 درجة مئوية ، ويلاحظ أن مخلوط اللاكتوز والماء يمكن أن يكون زجاجاً ، ولكن Tg تقل مع زيادة المحتوى المائي ، وعلى ذلك فإن الماء يعمل كملدن Plasticizer . يسود اللاكتوز التحول الزجاجي لأغلب منتجات اللبن السائل المركزة ، الأخير له درجة حرارة التحول الزجاجي قريبة من مخلوط اللاكتوز والماء لنفس النشاط المائي .

تكون المادة الزجاجية صـــلبة وهشـــة . وهي أيضـــاً ثابتة حيال التغيرات الكيميائية والفيزيائية ، بشرط أن تظل درجة الحرارة تحت T_g . ولقد افتُرض أن انتشار المواد في الزجاج يكون صـفر ، حيث لزوجة قدرها 10^{12} بسكال.ثانية تعادل لأغلب الجزيئات لمعامل الانتشـار D لأقل من 10^{-24} متر^2.ثانية$^{-1}$. تم ملاحظة انتشار أسرع . تم الحصول على قيمة صغيرة لـــ D لجزيئات مسئولة عن الحالة الزجاجية . مثل اللاكتوز في أغلب المنتجات اللبنية ، ولكن جزيئات صغيرة مثل الماء والأكســجين يمكن أن تبقى عالقة عند معدل الترسـيب . وعلى ذلك يمكن أن تحدث بعض التفاعلات الكيميائية بالرغم من المعدل البطيء .

في درجة حرارة فوق Tg للمادة ، يمكن حدوث التبلور للاكتوز . وشـــوهد حدوثه عند درجة حرارة 30 مئوية إذا كان يحتوي على 10% ماء بالكتلة . وهذا يعادل نشـــاطاً مائياً قدره حوالي 0.30 ، والذي يعادل بدوره لمحتوى مائي قدره 5% بالكتلة في مسـحوق اللبن الفرز (شـكل 3.10 المنحنى c) .

وهـذا يتفق مع بـداية بلورة ألفـا–لاكتوز المهـدرج $\alpha-$ lactose hydrate في الألبـان المجففة كما شـــوهد في التطبيق العملي . ظاهرة أخرى يمكن أن تحدث عند درجات قليلة فوق T_g هي أن المادة (جزيئات المسحوق) تصبح لزجة وتتشوه في الحال . والأهم أن تفاعلات كيميائية عـديـدة مثـل بني ميللارد maillard browning ســـوف يحـدث أكثر ســرعـة ، كمـا ســيناقش في الفصــــل التالي . انظر فصــــل 2.11 للانتقال زجاجي خاص في المخاليط المركزة المجمدة .

5.1.10 معدلات التفاعل ***Reaction Rates***

يمكن أن تؤثر التغيرات في الخواص التي تســـببها زيادة Q^* على معدلات التفاعلات الكيميائية والتغيرات الفيزيائية إلى حد كبير . يحدث في أغلب الحالات نقص في المعدل (شـــكل 5.10) . وغالبا ما يكون خصيصاً ولذلك السبب فإن المنتجات المركزة ، خاصة المجففة منها ، قد صنعت .

عادة ، السـبب الرئيسـي لمعدل التفاعل البطيء بعد تركيز كبير ، هو انخفاض معامل الانتشار . ومن الواضح ، أن الجزيئات المتفاعلة يجب أن تلتحم قبل أن تتفاعل ، وتكون احتمالية الالتحام متناسـبة مع معامل الانتشـار . إذا كان الانتشـار قليلاً ، والذي بدوره يحد من معدل التفاعلات البيوجزيئية . يكون المعدل البطيء للعمليات الفيزيائية مثل تكون البلورة أيضـاً سـبباً في انخفاض الانتشار . الجزيئات الأكبر هي الأقوى في خفض معدل الانتشار . في مسحوق اللبن التي بها محتوى مائي منخفض ، يمكن أن تكون معدلات الانتشـار الفعلية صغيرة جداً لأن المادة تكون في الحالة الزجاجية .

ومن المعتاد أن نرسم سرعة التفاعل ضد النشـاط المائي . وهذا يقترح أن a_w هي العامل المحدد للمعدل ولكن ذلك غير صـحيح . إذا كان الماء هو مادة متفاعلة (كما في التحليل المائي) ، يعتمد معدل التفاعل أيضـاً على النشـاط المائي نفسـه . ومع ذلك سـوف يقل معدل التفاعل بعد ذلك بعامل قدره 2 عندما ننتقل من a_w قيمها واحد إلى a_w قيمتها 0.5 ، حيث يمكن أن يقل معامل الانتشار بعامل قدره 10^3 .

وبسـبب أن أي زيادة في تركيز التفاعلات ، معدل تفاعلات الجزيئات البيولوجية يزداد أولاً نتيجة إزالة الماء وعند زيادة Q^* أكثر ، فإن معدل التفاعل عادة ما يقل ثانية ؛ وسـوف يتسـبب هذا النقص بواسطة الانتشار المنخفض . مثال جيد هو تفاعل ميلارد (شكل 5.10 ، منحنى 5) نقص ذوبانية بروتين اللبن اللاعكسي في مسحوق اللبن ومعدل الجلتنة (تكون الهلام) للألبان المركزة تظهر اتجاهاً شبيهاً بالمنحنى 5 . وعند إزالة الماء من اللبن فإنه ينصح بأن تتعدى مستوى 10% ماء في المنتج بأقصى سرعة ممكنة .

تتبع الأكسـدة الذاتية للدهون نظاماً مختلفاً (شـكل 5.10 منحنى 4) . يكون معدل التفاعل عالياً لـ a_w المنخفضة ، أسباب محتملة هي أن الماء يخفض من عمر الشقوق الحرة ، يبطئ تحلل البيروكسيدات المائية ويخفض النشاط المحفز لأيونات المعدن مثل أيونات النحاس .

حرارة دنترة البروتينات الكروية وبالتالي ، تثبيط الإنزيمات وقتل الكائنات الدقيقة الحية (انظر فصل 3.7) تعتمد كثيراً على المحتوى المائي . مثال ذلك موجود في شكل 6.10 (الفوسفاتيز القاعدي) كل من $\Delta^{+}+H$ (انثالبي التنشـــيط Activation enthalpy) و $\Delta^{+}+S$ (انتروبيا التنشـــيط Activation entropy) للدنترة عادة ما تقل بزيادة المحتوى المائي (انظر معادلة 8.7) وهذا يقتضي أن اعتماد الدنترة أو معدل التثبيط على درجة الحرارة ينخفض أيضاً بانخفاض المحتوى المائي . ويمكن أن يحدث أيضاً أن إزالة الماء يزيد من تركيز المواد المتفاعلة أو العامل المساعد للتثبيط الحراري ، وهذا من المحتمل أن يكون حالة الكيموزين في الشرش (شكل 6.11) ، لأن عند 40% مادة صلبة a_w والانتشار لا ينخفضا كثيراً .

يمكن أن يعتمد نمو الكائنات الدقيقة الحية بقوة على المحتوى المائي للغذاء . يرجع مؤلفون عديدون احتمالية النمو إلى النشاط المائي وللقيم المنخفضة التي عندها يستطيع الكائن الحي النمو، فمثلاً :

البكتيريا 0.98 – 0.90 البكتيريا المحبة للملوحة حتى 0.75

الخمائر حوالي 0.9 الخمائر المحبة للأسموزية حتى 0.6

الأعفان 0.92 – 0.80 الأعفان المحبة للجفاف حتى 0.6

سبب بسيط هو أن قيمة a_w المنخفضة تقتضي قيمة عالية للضغط الأسموزي Π والعلاقة هي $\Pi = 135.10^{6} In\, a_w$ (بالبسكال عند درجة حرارة الغرفة . يكون الكائن الحي غير قادر على تحمل قيم Π المرتفعة لأنها سوف تسبب خروج الماء من الخلية ، محطمة جهازه الأيضي ، عادة يسبب التركيز الداخلي للمواد الضـــارة التي تصـــبح عالية . ومع ذلك تكتســـب الكائنات الدقيقة ميكانيكيات مختلفة لتعادل التأثير العالي لقيمة Π ، ويختلف تأثير ذلك كثيراً بين الكائنات :

1. فرق صـــغير في Π بين الخلية والبيئة يمكن تحملها غالباً . يمكن أن تتحمل الجراثيم البكتيرية فروقاً كبيرة في Π .

2. يمكن أن تعبر بعض المواد المذابة مثل أغلب الكحولات ، جدار الخلية دون إعاقة ، وعلى ذلك لا تسبب هذه المواد فرقاً في الضغط الأسموزي . إذا كانت المادة المذابة تقاوم بعنف ، والذي يعني أنها غير ضارة للخلية عند تركيز معتدل ، يمكن أن يعيش الكائن الحي وينمو .
3. يمكن أن تنتج الكائنات الحية ويحدث تراكم مواد مقاومة منخفضة الكتلة المولارية ، والتي تحافظ على قيمة Π الداخلية عالية ، وهي عادة تخص أحماضاً أمينية خاصة .
4. يمكن أن تزال مواد ضارة معينة ، مثل حامض اللاكتيك من الخلية .

وبالتالي ، غالباً ما يكوّن هناك فرق كبير ، أي مادة مذابة تستخدم ؟ بمعنى آخر قيمة a_w المنخفضة يمكن تحملها اعتماداً على تركيب الوسط ، فمثلاً عادة ما يتم تحمل الجليسرول بتركيزات مولارية عالية ، ومن ثم تكون قيمة a_w منخفضة عن الإيثانول ، يمكن أن تتحمل البكتيريا المحبة للملوحة تركيزاً أعلى من كلوريد الصوديوم ، ولكن ليس السكريات . وخمائر محبة للأزموزية يمكنها تحمل تركيز عالي للسكر وليس الأملاح . بالإضافة إلى ذلك ، عوامل أخرى يمكن أن تؤثر على a_w المنخفضة التي أمكن تحملها ، مثل درجة الحرارة وتركيزات مثبطات النمو ، مثل الأحماض والمواد المغذية . تزداد هذه التركيزات عند إزالة الماء . للأعفان التي تنمو على سطح غذاء صلب (مثل الجبن) يمكن أن تكون الرطوبة النسبية أي a_w التي تكون المتغير الأساسي المحدد للنمو .

2.10 التبخير *Evaporating*

يتم تطبيق تبخير منتجات مثل اللبن ، اللبن الفرز والشرش :

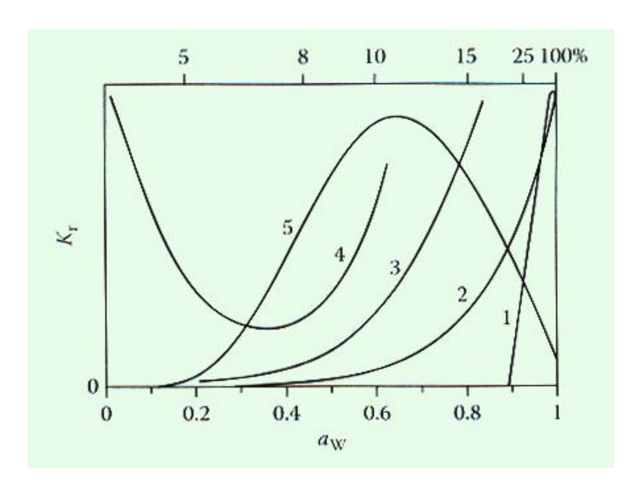
1. لعمل تلك المنتجات المركزة مثل اللبن المبخر ، اللبن المكثف المحلى ، والزبادي المركز .
2. كخطوة في عمليات تصنيع مسحوق اللبن الجافة ، على اعتبار أن إزالة الماء بواسطة التبخير يحتاج طاقة أقل من التجفيف (انظر جدول 2.10) .

3. لإنتاج اللاكتوز (α- لاكتوز المائي) من الشرش أو الشرش الخالي من البروتين بواسطة البلورة Whey permeate (تحت فصل 1.2.12) بواسطة التبلور .

جوانب هامة لتبخير اللبن والمنتجات اللبنية تمت مناقشتها في فصل 2.7 وفصل 1.10 ، بديل التبخير هو الأسموزية العكسية Reverse Osmosis (فصل 3.12) ، التركيز بالتجميد (فصل 2.11) .

يتم التبخير دائماً تحت ضغط منخفض ، أولاً لكي نسمح بالغليان عند درجة حرارة منخفضة ، وبذلك نمنع الضرر نتيجة للتسخين . شكل 7.10 يوضح الضغط التجاري كدالة عن درجة الحرارة . أي العلاقة بين الضغط ودرجة غليان الماء النقي . لا تأخذ هذه العلاقة في الاعتبار ارتفاع نقطة الغليان نتيجة للمواد الذائبة ، والتي هي صغيرة نسبياً ، بالنسبة للبن 0.17 كلفن وبالنسبة للبن الفرز المبخر تصل إلى حوالي 2 كلفن ، وللشرش المبخر واللبن المكثف المحلى إلى أكثر من 3 كلفن . بالإضافة إلى ذلك التبخير تحت التفريغ يسهل التبخير في عدة مراحل ؛ انظر النص التالي :

يكون تركيب وحدة تبخير ، أي الجزء من الآلة الذي يحدث فيه التبخير الحقيقي للماء متنوعة . يسمى النوع القديم المبخر الدوار Circulation evaporator ، يكون السائل في وعاء حيث يتم الغليان فيه تحت تفريغ ويدور . ولكي نجعلها عملية مستمرة فإن حزمة من الأنابيب يتم إدخالها ، خارج الأنابيب يوجد وسط التسخين ؛ بداخله يوجد السائل المغلي مثل اللبن ، وتدفع فقاعات البخار المتكونة السائل لأعلى . من العيوب الكبيرة هو أن ارتفاع السائل ينتج عنه ضغط هيدروستاتيكي ، يكون من نتيجته ارتفاع نقطة الغليان . فمثلاً ، عند ضغط في الوعاء قدره 12 كيلو باسكال يعادل نقطة غليان حوالي 50 درجة مئوية ، فإن ضغط هيدروستاتيكياً يعادل عموداً من الماء ارتفاعه متر ، سوف يرفع نقطة الغليان إلى حوالي 65 درجة مئوية ، ويكون هذا غير مرغوب فيه في المبخرات متعددة التأثير Multi effect evaporators انظر خلفه . بالإضافة إلى ذلك يحدث في هذا النوع من المبخرات تراكم للخبث

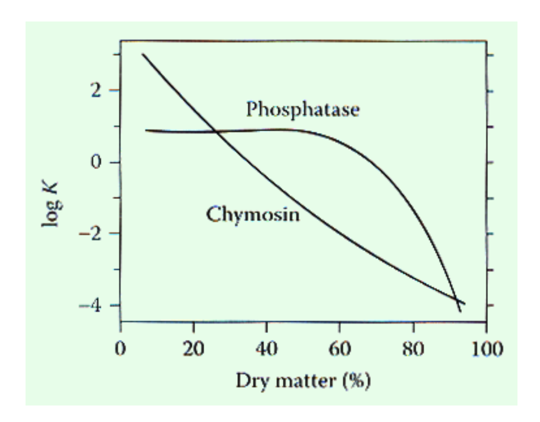


شكل 5.10 معدل التفاعل النسبي (k_r) لتفاعلات مختلفة رسم ضد النشاط المائي (a_w) لمسحوق اللبن الفرز المركز ، الإحداث السيني العلوي يعطي المحتوى المائي (وزن/وزن%) (1) نمو البكتيريا ستافيلوكوكس ايريس (2) الهدم التأكسدي لحامض الأسكوربيك (3) التأثير الإنزيمي (الليبيز) (4) الأكسدة الذاتية للدهن (5) تفاعل ميللارد (الدكانة غير الإنزيمية) يقصد من ذلك توضيح الاتجاهات

Figure 10.5 Relative reaction rate (K_τ) of various reactions plotted against the water activity (a_W) of (concentrated) skim milk (powder). The upper abscissa scale gives the water content (% w/w). (1) Growth of *Staphylococcus aureus*; (2) oxidative degradation of ascorbhic acid; (3) enzyme action (e.g., lipase); (4) lipid autoxidation; (5) Maillard reaction (nonezymatic browning). Only meant to illustrate trends. (Adapted from P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984)

بصورة ثقيلة . إن من مميزات هذا النوع من المبخر الدوار ، هو أنه يسمح ببخر السوائل عالية اللزوجة .

وفي هذه الأيام ، تكون كل وحدات التبخير تقريباً من النوع المسمى مبخرات الطبقة الساقطة Falling film type (انظر شكل 8.10) يجري اللبن بواسطة الجاذبية داخل سطوح عدد من الأنابيب كطبقة رقيقة ، وسط التسخين يكون عند السطح الخارجي يمر السائل في الأنبوبة مرة واحدة ثم يسقط من الأنبوبة في شكل مركز Concentrated form . هناك صعوبة



شكل 6.10 ثوابت التفاعل (K) لتثبيط إنزيم الفوسفاتيز القاعدي في لبن الفرز المركز والكيموزين في الشرش المركز عند درجة حرارة 80 مئوية ، كدالة عن المحتوى المائي . أمثلة تقريبية

Figure 10.6 Reaction constants (K, in s^{-1}) for inactivation of alkaline phosphatase in concentrated skim milk and of chymosin in concentrated whey at 80°C, as a function of water content. Approximate examples. (Adapted from A.L.H. Daemen, *Neth. Meth. Dairy J.*, 35, 133, 1981)

وهي أن الأنابيب يجب أن تكون مبللة بالكامل بواسطة السائل لكي نتجنب فقد سطح التسخين وتكون الخبث الزائد . تصاميم خاصة للتأكد من التوزيع المتساوي للسائل فوق الأنابيب (مثل رش اللبن كرذاذ فوق قمة الصفيحة في الوحدة) . لكي نمنع جزءاً من السطح المسخن من أن يصبح جافاً ، يجب أن يكون معدل انسياب الحجم في الأنبوبة عالياً ، تكون المشكلة أكبر في الجزء السفلي للأنبوبة ، حيث التبخير قد قلل من كمية السائل وزاد من لزوجته، لكي نتجنب المشاكل، يمكن أن نقسم وحدة التبخير إلى أقسام ، كما هو موضح في شكل 8.10 b ؛ وهذا يسمح بطبقة سميكة أكبر من السائل المركز أن تمر خلال عدد قليل من الأنابيب ، مبخرات الطبقة الساقطة Falling film evaporators يمكن أيضاً أن تصمم من حزم من الصفائح بدلاً من حزم من الأنابيب .

تكون الحرارة اللازمة لإحداث التبخير في أغلب الحالات على هيئة بخار تحت ضغط منخفض (Reduced pressure) . وفي الأساس يمكن أن يعاد استرجاع كل الحرارة تقريباً باستعمال البخار الناتج عن التبخير كوسط حراري لتبخير ماء أكثر ، تفقد جزء من الحرارة بواسطة الإشعاع إلى الوسط المحيط . وتفقد الحرارة الممتصة المستخدمة أيضاً (انظر جدول 2.10) . بعض النظم المستخدمة لاستعادة الحرارة كالتالي :

التأثيرات المتعددة Multiple effects

تم توضيح الأساس الذي قام عليه في شكل 8.10 a . في وحدة التبخير الأولى ، يدخل البخار وجزء من الماء يتم تبخيره من اللبن . يتكثف البخار ويفصل البخار عن اللبن المركز ويستخدم البخار في تبخير الماء من اللبن المكثف في التأثير الثاني ، وهكذا يكون انسياب اللبن والبخار متزامنين . يختلف عدد التأثيرات من 3 إلى 7 . يتكثف البخار القادم من التأثير الأخير في مكثف خاص ، درجة حرارة الماء في المكثف تحدد درجة حرارة الغليان في التأثير الأخير ، تحدد درجات حرارة الغليان في التأثيرات الأخرى بواسطة انخفاض ضغط البخار عندما ينقل إلى التأثير الثاني . سوف يكون الفرق الحراري ΔT بين البخار المتكثف والسائل الذي يغلي أصغر للعدد الأكبر من التأثيرات N . N الأعلى وعلى ذلك تحتاج إلى توفير للبخار ولكنها تحتاج أيضاً إلى سطوح تسخين أكبر ؛ تجهيزات كبيرة ومكلفة ، فقد أكثر للحرارة بواسطة الإشعاع وتكاليف تنظيف عالية ، خاصة في التأثير الأخير ، يمكن أن يكون معدل نقل الحرارة صغيراً للغاية : هنا تكون الحرارة منخفضة وتكون لزوجة المركز عالية جداً .

إعادة ضغط البخار حراريا (TVR) : يمكن أن يحقن بعض بخار الضغط الجوي داخل البخار الناتج من وحدة البخير . TVR يمكن أن يستخدم في المبخر ذو التأثير الواحد وأيضاً في المبخر متعدد التأثير . يمكن في الحالة الأخيرة الوصول إلى ΔT عالية . ويكون ترتيب التأثيرات

المختلفة أكثر مرونة ؛ يمكن أن تكون تيارات البخار واللبن في اتجاه معاكس ، مع تجهيز صـــغير ناتج واستهلاك بخار منخفض (انظر جدول 10-2) .

إعادة ضـــغط البخار ميكانيكياً (MVR) هذه موضـــحة في شـــكل 8.10 b . وهي تعمل بتأثير واحد ، تســـتخدم مضـــخة خاصـــة لإعادة ضـــغط البخار الناتج عن عملية التبخير ، وعند ذلك ترتفع درجة حرارته ، ويعاد تدويره كوســـط تســـخين . يحتاج المبخر فقط تأثير واحد ، بالرغم من أن انســـياب اللبن عادة ما يقســـم إلى أقســـام ، كما هو موضـــح في الشـــكل . يتكون عدد الأقســـام من 3 إلى 5 أقســـام ، ولا نحتاج إلى مكثف ، يكون استهلاك الحرارة الكلية منخفضاً جداً (انظر جدول 2.10) هناك ميزة أخرى وهي أنه يمكن حفظ السائل المبخر .

عند حرارة ثابتة عادة من 50 إلى 55 درجة مئوية للبن واللبن الفرز ، وحوالي 60 درجة مئوية للشـــرش . $T\Delta$ تكون عادة من 4 إلى 5 درجات مئوية ، متوســـط وقت بقاء اللبن (الســـائل) في وحدة التبخير هو حوالي 10 دقائق . محتوى المادة الجافة الأعلى الذي يمكن الوصـول إليه هو عادة 40 إلى 45% .

تتضـــمن تجهيزات التبخير أجهزة أخرى مختلفة ، ســـخانات مبردات ، مولدات طاقة ، مضـــخات تفريغ لإزالة الهواء الذائب ، مدخل بخار يحتاج إليه لبدأ العملية ، مضـــخات لتنظيف الســـوائل ... وغيرها ، تســـتخدم أشـــكال وصـــور مختلفة من معدات اعتماداً على نوع الســـائل المراد تركيزه ودرجة التركيز المطلوبة . يعطي شـــكل 9.10 مثالاً لتطور حرارة المنتج ومحتوى المادة الصـــلبة في مبخر متعدد التأثير . وتكون عادة *TVR* عادة مشـــتملة . تبنى أغلب التجهيزات الجديدة على أســـاس *MVR* ؛ وغالباً ما تخص وحدات *MVR* الكبيرة . متبوعة بواســـطة وحدة *TVR* وحيد التأثير وصـــغير ، لكي نصـــل إلى تناغم دقيق لمحتوى المادة الجاف النهائي .

جدول 2.10 حرارة تبخير الماء وأمثلة من الطاقة اللازمة في بعض العمليات لإزالة الماء

Table 10.2 Heat of Vaporization of Water and Examples of Energy Requirement in Some Processes to Remove Water

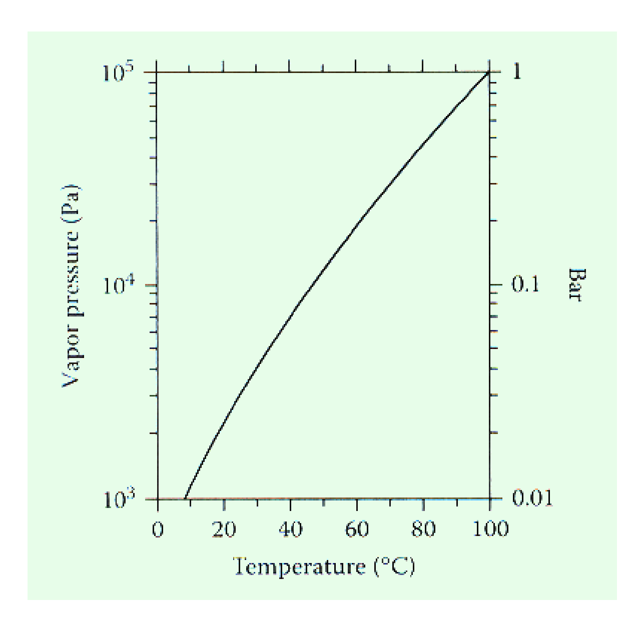
حرارة تبخير الماء عند 100 درجة مئوية Heat of vaporization of water at 100°C	2255
حرارة تبخير الماء عند 40 درجة مئوية Heat of vaporization of water at 40°C	2405
الحرارة الممتصة لإزالة الماء من اللبن الفرز حتى حوالي 60% مادة جافة Sorption heat for removal of water from skim milk up to about 60% dry matter	5
التبخير 3 مراحل Evaporation, 3 stages	800^a (0.35 كيلوجرام بخار)
تبخير 6 مراحل مع بخار حراري معاد ضخه Evaporation, 6 stages, with thermal vapor recompression	230^a (0.1 كيلوجرام بخار)
تبخير خطوة واحدة مع بخار معاد ضخه ميكانيكياً Evaporation, 1 stage, with mechanical vapor recompression	115
التجفيف الدوار Roller drying	2500^a (1.1 كيلوجرام بخار)
التجفيف بالرذاذ Spray drying	4500^a (2.0 كيلوجرام بخار)
الأسموزية العكسية Reverse somosis	35 – 20

ملاحظة ، كل البيانات بالكيلوجرام لكل كيلوجرام ماء مزال .

a شاملة الطاقة الميكانيكية (مضخات و... الخ) .

Note: All data are in kJ or kg steam per kg of water removed.
a Excluding mechanical energy (pumps, etc.).

عندما نصـــنع مســـحوق ، كمية الماء المزالة في المجفف يجب أن تكون كبيرة على قدر المستطاع . الحد عادة ام يضبط بواسطة اللزوجة العالية للمركز . تؤخر لزوجة عالية معدل الانسياب بالقرب من سـطح التسـخين ، وعلى ذلك ، تقل الحرارة . في مبخر الطبقة السـاقطة والذي يكون فيـه معـدل الانســيـاب عـاليـاً ، يجـب ألا تتعـدى اللزوجـة 0.1 بســكـال ثـانيـة . عنـد درجة حرارة منخفضـــة ، ســـوف يتعدى اللبن المركز العالي واللبن الفرز هذا الحد ، وعلى ذلك يســـتخدم انســـيـاب تيـار معـاكس جزئي في مبخرات التـأثير المتعـدد . يمر اللبن المركز خلال



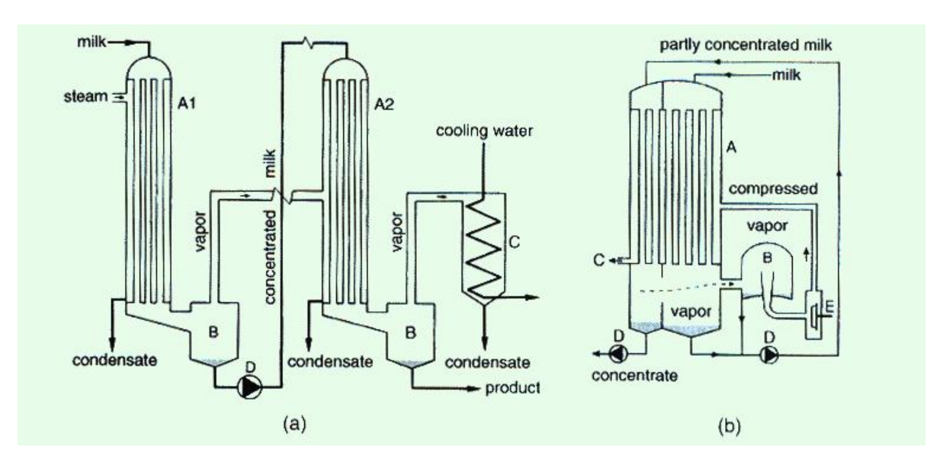
شكل 7.10 الضغط البخاري للماء كدالة على درجة الحرارة

Figure 10.7 Vapor pressure of water as a function of temperature

التأثيرات الأخيرة في درجة عكسية ، اللبن الأعلى تركيزاً لا يبخر عند درجة حرارة منخفضة ، ولكن عند حرارة أعلى إلى حد ما ، والتي تؤدي إلى لزوجة منخفضـة ، ومن الواضـح أن هذا ممكن فقط إذا تم استخدام إعادة ضخ البخار . وعندما يصنع اللبن المركز المحلى ، تصل اللزوجة إلى أكثر من 0.1 باسكال ثانية . يستخدم عادة في التأثير الأخير مبخر دوار كبير عادي ، وفيه يدور اللبن لكي نمنع سطح التسخين من أن يصبح جافاً جزئياً .

لزوجة اللبن المركز مؤشـــر هام في عملية التبخير . تؤثر عدة عوامل على اللزوجة (انظر فصل 7.4) . بالنسبة لمحتوى المادة الجافة .

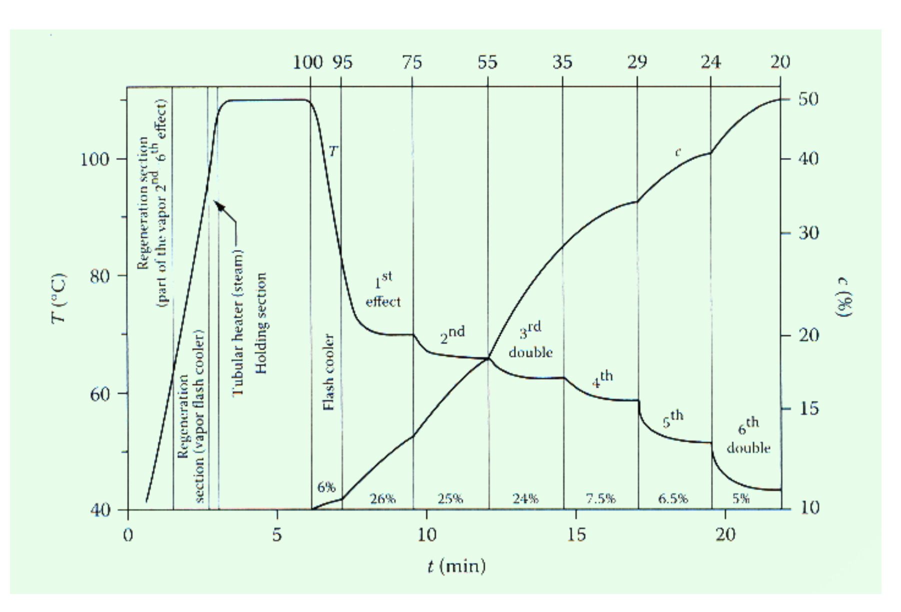
تقل اللزوجة في ترتيب كالآتي ، اللبن الفرز > اللبن > الشـــرش > الشـــرش الخالي من البروتين whey permeate . نتائج اللبن الفرز موضـــحة في شـــكل 10.10 . تزداد اللزوجة أكثر ، متناسبة .



شـــكل 8.10 شـــكل توضـــيحي يبين العمليات الرئيســـية في التبخير . A = وحدة التبخير ، B = فاصـــل بخاري ، C = مكثف ، D = مضـخة ، E = مكبس بخار ميكانيكي . في (a) تم توضـيح الأسـاس الذي بنى عليه المبخر متعدد التأثير ؛ درجات الحرارة في A_2 منخفضـــة عن درجات الحرارة في A_1 . في (b) مبخر وحيد التأثير مزود بمكبس لإعادة ضغ البخار الميكانيكي تم توضيحه

Figure 10.8 Diagrams showing the main operations in evaporating. A = evaporation unit; B = vapor separator; C = condenser; D = pump; E = mechanical vapor recompressor. In (a) the principle of a multiple-effect evaporator is given; the temperatures in A2 are lower than those in A1. In (b) a single-effect evaporator with mechanical vapor recompression shown. (Based on diagrams provided by Carlisle process Systems, Gorredijk)

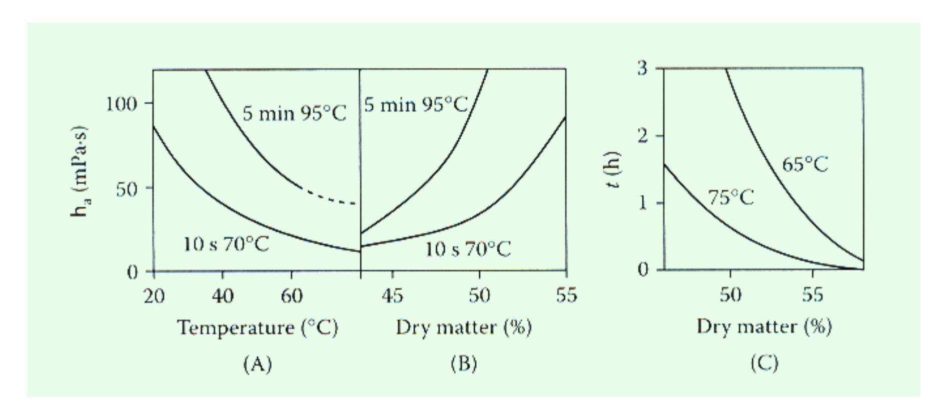
مع محتوى المادة الجافة . يمكن شـرح الزيادة القوية نسـبياً بزيادة محتوى المادة الجافة بواسـطة كسـر حجمي الجزيء في السـائل والتي تكون عالية جداً (انظر المعادلة 7.4 للحالة التي بها φ تقارب φ_{max}) . اللبن المركز يكون معدل القص الرقيق ملحوظاً . ولزوجته تكون ظاهرية η_a . عند معدل شـير Shear rate قدره 100 ثانية$^{-1}$ ، η_a تكون حوالي ضـعف القيمة عند 2000 ثانية$^{-1}$ تسـخين مبدئي للبن Preheating يزيد من η_a (اللزوجة الظاهرية) إذا كان محتوى المادة الجافة عالياً . ويمكن شـرح ذلك بواسـطة زيادة حجم بروتينات المصـل نتيجة لعملية الدنترة . تأثير درجة الحرارة على η_0 صـعب حسـابه لأن η_a تزداد بسـرعة مع الوقت عند درجة حرارة عـالية ، ومحتوى مـادة جـافة عـالي ، تسـمى هـذه العملية زيـادة السـمك بمرور الوقت Age thickening ومن المحتمل أن يؤدي ذلك إلى الجلتنة (انظر شكل c 10.10) .



شكل 9.10 مثال لتوضيح تأثير درجة الحرارة (T) ومحتوى المادة الجافة (C) للبن الفرز كدالة عن الوقت (t) في مبخر ذو تأثيرات ستة مع تسخين مسبق . يكون مقياس محتوى المادة الجافة لوغاريتمياً . اللبن سابق التسخين بواسطة متبادل حراري والذي يستخدم بنجاح انطلاق البخار المستنفذ من مبخرات ، وبخار المبردات ، والبخار الحي . بالإضافة إلى ذلك جزء من بخار التأثير الثالث يضغط مع بخار (TVR) ويؤدي إلى التأثير الأول . وللباقي ، البخار والمركزات تسيل في تيار متزامن . جزء من الماء يتم تبخيره في مبرد مفرغ بواسطة التبخير بالومضات . توضح النسب المئوية المذكورة نسبة الماء المتبخر في التأثير المختص (89% من الماء الكلي يتم إزالته) . تمثل الأعداد في القمة السائل المتبقي (نسب الكتلة) بعد التأثيرات المختلفة . تقسم وحدة التبخير في التأثير الثالث والسادس إلى قسمين (كما هو موضح في شكل 8.10 b)

Figure 10.9 Example of the course of temperature (T) and dry-matter content (c) of skim milk as a function of time (t) in a six-effect evaporator with preheating. The scale for the dry-matter content is logarithmic. The milk is preheated with heat exchangers that successively use exhaust vapor of the evaporators, vapor of the cooler, and live steam. Furthermore, part of the vapor of the third effect is compressed with steam (TVR) and led to the first effect. For the rest, vapor and concentrate are concurrent. A part of the water is evaporated in a vacuum cooler by flash evaporation. The percentages mentioned indicate the proportion of the water evaporated in the effect concerned (89% of all water being eventually removed). The numbers on top represent the residual liquid (in mass percent) after the various effects. In the third and the sixth effect, the evaporation unit is divided into two sections (as in Figure 10.8b). (From data provided by Carlisle Process Systems, Gorredijk)

درجة التركيز عادة ما تفحص بواســطة الكثافة ρ أو معامل الانكســار n يمكن تقدير هذه المؤشــرات باســتمرار في تدفق المركز ، وهذا يســاعد التحكم الأوتوماتيكي في عملية التبخير بواســطة ضــبط البخار أو إمداد اللبن ، وهذا ليس ســهلاً عندما نأخذ في الاعتبار وقت المســك الممتد ، والعدد الكبير لخطوات العملية .



شــكل 10.10 اللزوجة الظاهرية (η_0) للبن الفرز المركز ذو محتوى متنوع من المادة الجاف (A) تأثير درجة الحرارة ، المقياس تم تسخينه من قبل ، 48% مادة جافة . (B) تأثير التركيز ، نفس المقياس درجة الحرارة 50 درجة مئوية . الوقت المطلوب (t) لكي يحدث تكون الهلام (الجلتنة) للمركز عن درجتي حرارة كدالة على التركيز . نتائج تقريبية

Figure 10.10 Apparent viscosity (η_a) of skim milk concentrate of various dry-matter content. (A) Effect of temperature, parameter is preheating, 48% dry matter. (B) Effect of the concentration, same parameter, measuring temperature 50°C. (C) Time needed (t) to cause gelation of the concentrate at two temperatures as a function of concentration. Approximate results. (Adapted from T.H.M. Snoeren et al., *Neth. Milk Dairy J.*, 38, 43-53, 1984)

صفات المنتج التي يجب أخذها في الاعتبار تشمل الآتي :

1. زيادة السمك بمرور الوقت عند تركيز عالٍ ودرجة حرارة عالية .
2. اللبن عالي التبخير يكون عرضة لتفاعلات ميلارد (شكل 5.10) .

جدول 3.10 المكونات التقريبية للسوائل المبخرة حتى درجة الحرارة القصوى المحتملة

Table 10.3 Approximate Composition of Liquids Evaporated up to the Maximum Degree Possible

السائل Liquid	نسبة المادة الجافة % Dry Matter	Q^a	Q^*	تركيز اللاكتوز[b] Saturation of Lactose
اللبن Milk	50	4	7	1.05
اللبن الفرز Skim milk	55	6	12	1.85
الشـــرش الحلو Sweet whey	64	9.5	25	3.77

a $Q =$ معامل التركيز ، $Q^* =$ التركيز بالنسبة للمحتوى المائي (انظر فصل 1.10) .

b عند درجة 40 مئوية على افتراض أن التبخر لا يغير معدل النشـاط للاكتوز في الحقيقة المعدل يزداد ويسـبب ذلك يزداد التركيز لفوق التشبع (خاصة في الشرش المحلى) .

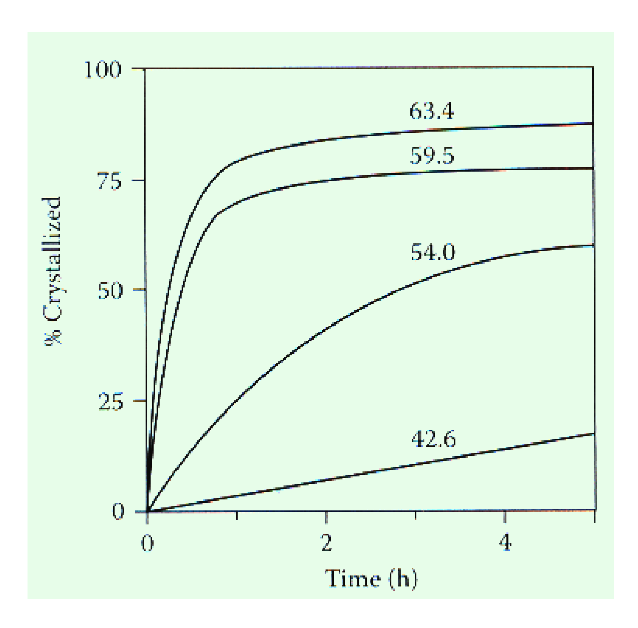
a. Q = concentration factor; Q^* = concentration relative to the water content (see Section 10.1).

b. At 40°C and on the assumption that evaporation does not alter the activity cefficient of lactose. In fact, the coefficient increases substantially, thereby increasing the actual supersaturation (especially in sweet whwy).

3. يتكون الخبـث بســرعـة إذا كـان المنتج عـالي التركيز ، وكـانـت الحرارة مرتفعـة ، وكـان الفرق في درجـة الحرارة عبر الجـدار تكون عـاليـة ، ومعـدل انســيـاب الســائل بطيء ، التسخين المسبق preheating يمكن أن يقلل من حدوث الخبث عن درجة حرارة عالية (انظر فصــل 1.14) . تصــميم المعدة عـادة مـا يؤثر على معـدل تكوين الخبـث وســهولـة تنظيفه . تزداد تكاليف التنظيف مع زيادة مســاحة التســخين في الجهاز ، وبالتالي مع عدد التأثيرات .

4. يمكن أن تنمو بعض البكتيريا عنـد درجـات حرارة عـاليـة نســبياً وخـاصـــة في التـأثيرات الأخيرة . تكون البكتيريا المحبة للحرارة متورطة في هذا الشــأن مثل بكتيريا ســتريبتوكوكس ثيرموفيليس وبـاســيليس ســتيـاروثيرموفيليس الأخيرة يمكن أن تقـاوم التعقيم survive sterilization ويقتضــي هذا أن العملية التصــنيعية تجب أن تتم في جو صــحي وأن يكون

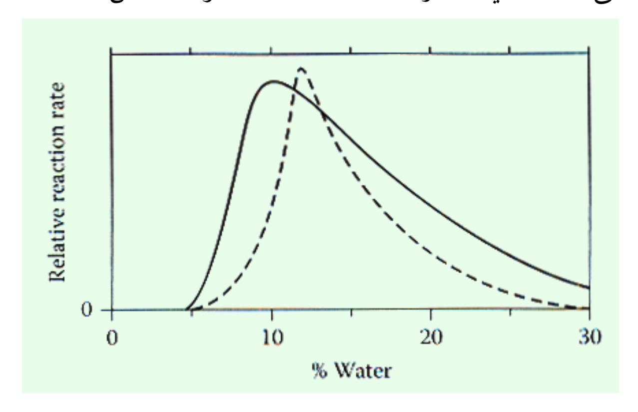
الجهاز نظيفاً ومعقماً ، بعد أقل من 20 ساعة من العملية المستمرة . يكون الانتشار في وقت الاحتجاز ذا أهمية كبيرة (انظر أيضاً فصل 3.20) .



شكل 11.10 تكوين بلورات اللاكتوز في الشرش المركز (المقياس هو نسبة المادة الجافة) كدالة على الوقت قبل التبريد إلى 20 درجة مئوية ، في المدى من 15 إلى 40 درجة مئوية معدل تكون البلورات يعتمد قليلاً على درجة الحرارة

Figure 10.11 Crystallization of lactose in concentrated whey (parameter is % dry matter) as a function of the time after cooling to 20°C. in the range of 15 to 40°C. the crystallization rate depends little on the temperature. (Adapted from results by K. Roetman, Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, 1982)

5. يحدث تكوين الرغوة عدة مع اللبن الفرز ، عند درجة حرارة منخفضة . يجب أن تضبط المعدة لكي تتغلب على ذلك . في مبخرات الطبقة الساقطة يوجد بعض المشكلات .



شـكل 12.10 معدل تفاعلات ميلارد (-) والبروتين يصبح غير ذائب (...) في اللبن الفرز المركز عند درجة حرارة مرتفعة (80 درجة مئوية) كدالة للمحتوى المائي . المنحنى البروتيني غير الذائب يعتمد على شـروط عديدة ، مثل التسخين المسبق أمثلة تقريبية

Figure 10.12 Rate of Maillard reations (–) and of protein becoming insoluble (---) in concentrated skim milk at high temperature (say, 80°C) as a function of water content. The curve for insoluble protein depends on several conditions, such as preheating. Approximate examples

6. يحدث تمزيق كريات الدهن في مبخرات الطبقة السـاقطة ، فمثلاً d_{vs} يمكن أن تنخفض من 3.8 إلى 2.4 ميكرومتر بواسـطة اللبن المبخر المحتوي على أكثر من 50% مـادة جـافـة . عادة ، لا تشكل هذه الحالة مشكلة لأن اللبن يجنس بأي طريقة .

ويجب أن نتذكر أن منتجات مختلفة تسـمح بدرجات مختلفة من التبخير ، وأن عـامل التركيز نفسه يؤثر على تركيز المكونات الذائبة بصورة مختلفة . الجدول 3.10 يعطي بعض الأمثلة : اللاكتوز سـوف لا يتبلور في اللبن عالي التركيز ، بينما يمكنه فعل ذلك في الحال في لبن الفرز عالي التركيز . يمكن أن يسـبب لبن الشـرش المركز الذي له Q^* عالية خبثاً كبيراً في معدات التبخير . يمكن التغلب على هذا العيب ، يحفظ الشـرش المبخر جزئياً خارج المعدات لبعض الوقت ولنقل ساعتين قبل أن يركز ثانية . ويسمح للأملاح أن تتبلور في الحجم الكلي ويتبلور اللاكتوز في نفس الوقت .

يحتوي الشــرش عالي التركيز على بلورات كافية من اللاكتوز ، كما يحتاج إليه في صــناعة الألفا-لاكتوز المميّه (انظر شـــكل 11.10) . تبدأ عملية التبلور في المبخر ، ولكن تحتاج إلى عدم التدخل في عملية التبخير .

3.10 التجفيف ، جوانب عامة *Drying , General Aspects*

1.3.10 أساسيات *Objectives*

إن التجفيف عـادة مـا يتطلـب عملاً منتجاً يـدوم ويكون من الســـهـل تـداولـه بعـد إعـادة الاســـترجـاع بـالماء ، ويكون كثير الشـــبـه في الخواص مع المادة الأصـــلية . عـادة مـا تكون المســـحوق الناتجة في الحالة الزجاجية (تحت فصــــل 4.1.10) . يطبق التجفيف لإنتاج منتجـات مثل اللبن ، اللبن الفرز ، الشـــرش ، صـــيغ لبن الأطفـال ، القشـــدة ، الآيس كريم المخلوط ، ومركزات البروتين ، جميعها لها محتوى مائي عالٍ . إزالة الماء مكلفة وخاصـــة بالنســـبة للطاقة (انظر جدول 2.10) ، بالإضـافة إلى ذلك المجففات مكلفة . ولذلك ، فالمادة غالباً ما تركز إلى محتوى مائي منخفض بواسطة التبخير (فصـل 2.10) ، أو بالأسموزية العكسية (فصـل 3.12) قبل التجفيف .

المشـــكلة التكنولوجية الأســـاســـية هي منع المنتج المجفف من أن تحدث فيه تغيرات غير مرغوبة . إن معدل تفاعلات كثيرة تعتمد كثيراً على المحتوى المائي ؛ شـــكل 12.10 يقدم مثالاً لذلك (انظر أيضـاً فصـل 1.10) وهي تخص التفاعلات التي تجعل البروتين غير ذائب ، ولأن هذه التفاعلات تعتمد بقوة على درجة الحرارة : Q_{10} = 4.5 (انظر أيضاً c 10.10) . عند درجة حرارة 80 مئوية . يصـــبح حوالي نصـــف البروتين الموجود في لبن الفرز المركز المحتوي على 13% ماء غير ذائب في 10 ثواني . وعلى ذلك ينضـح بمرور الفترة من 20% إلى 8% بســرعة وعند درجة حرارة معتدلة . إلا أن معدل الانتشـــار الفعلي للماء وبالتالي معدل الجفاف ، يقل معنوياً مع انخفاض

المحتوى المائي وبانخفاض درجة الحرارة (شكل 13.10) . يمكن أن توضح الحسابات التالية ذلك ، افترض أن تجفيف اللبن الفرز المركز في طبقة رقيقة سمكها x = واحد مليمتر على دعامة صلبة . يوضح شكل 13.10 أن معامل الانتشار (D) للماء عند درجة حرارة 70 مئوية هو في المتوسط حوالي 4.10^{-11} متر^2. ثانية$^{-1}$ عندما يكون المحتوى المائي بين 20% إلى 10% . وطبقاً للعلاقة $F_{0.5}D = X^2$ ، فإن الزمن اللازم سوف يكون $KS\ 25$ أي حوالي 7 ساعات . وعلى ذلك يجب أن يتم تذرية السائل إلى ذرات دقيقة إذا تطلب أن يكون جفافها سريعاً . وبالعكس يمكن أن يتم التجفيف عند درجة حرارة منخفضة ، ولكن ذلك عادة يأخذ وقتاً طويلاً جداً .

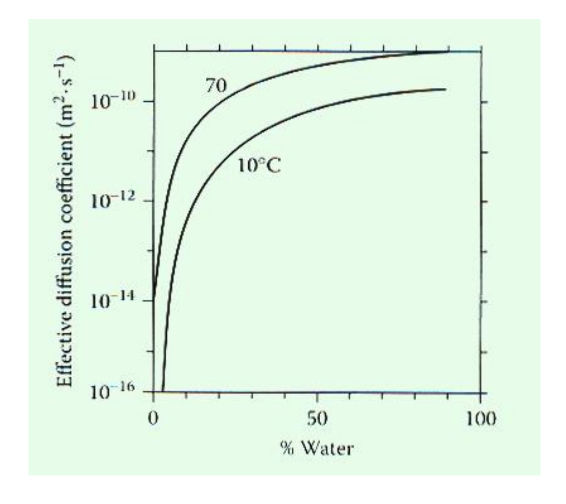
2.3.10 طرق التجفيف ***Drying Methods***

هناك عدة طرق لتجفيف السوائل ، ويستخدم فقط قليل منها في تصنيع الألبان .

1.2.3.10 التجفيف باستخدام اسطوانات دائرية دوارة ***Drum Drying***

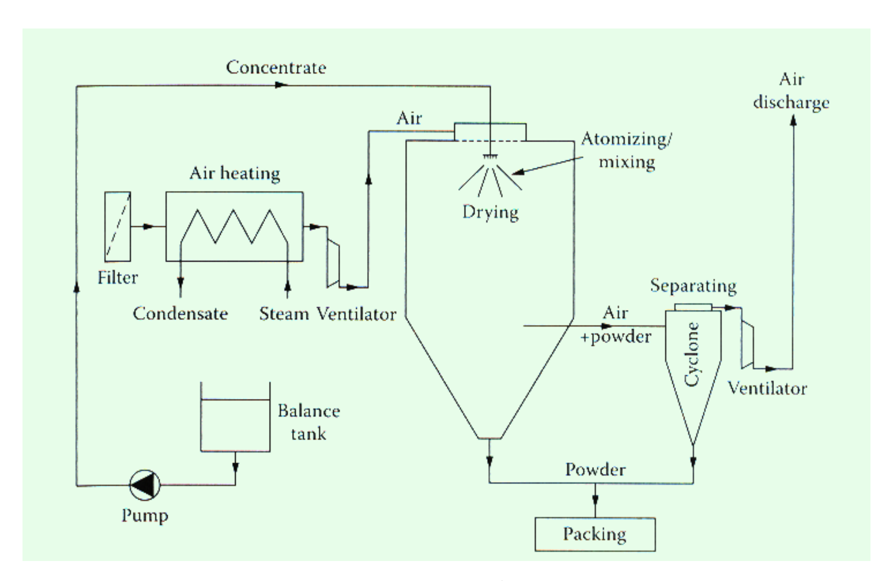
طبقة رقيقة سمكها 0.1 مليمتر من اللبن ، اللبن الفرز ، ... الخ . تجفف على اسطوانات معدنية كبيرة دوارة مسخنة من الداخل ببخار ساخن . عادة تجهز طبلتان جنباً إلى جنب عند مسافة تباعد صغيرة جداً . يتبخر الماء في خلال ثوان قليلة ، والتي تحدث نتيجة لدرجة التجفيف العالية (أكبر من 100 درجة مئوية) الطبقة الرقيقة الجافة تكشط من على الاسطوانة بواسطة سكين من الصلب ، وتجمع ثم تطحن .

يحدث ضرر كبير للمنتج نتيجة لتسخينه ، لأن الكشط دائماً ما يكون غير تام ، ونتيجة لذلك يكون جزء من اللبن مرة مبللاً ومرة جافاً بصورة متكررة . نوعية المسحوق يمكن أن تتحسن باستخدام مجفف دوار تحت تفريغ ، وفيه A vacuum roller drier يتم تجفيف اللبن عند درجة حرارة منخفضة ، ولكن هذه الطريقة مكلفة ، وفي هذه الأيام قليلاً ما تستخدم عملية التجفيف الدوار .



شكل 13.10 معامل الانتشار الفعلي للماء في اللبن الفرز المجفف كدالة على المحتوى المائي عند درجتي حرارة

Figure 10.13 Effective diffusion coefficient of water in drying skim milk as a function of water content, at two temperatures. (From results by P.J.A.M. Kerkhof, Ph.D. thesis, Eindhoven Technical University, 1975)



شكل 14.10 رسم توضيحي مبسط كمثال لعملية تجفيف بالرش

Figure 10.14 Simplified diagram of an example of the spray-drying process

2.2.3.10 التجفيف بالرغاوي ***Foam Drying***

يحقن تحت ضـــغط الهواء والنيتروجين داخل اللبن المركز ، ويســـخن المخلوط في الفراغ . خلالها يتكون غاز كثير في المركز ، والذي يتحول حالاً إلى كتلة أســـفنجية والتي تبرد بعد ذلك بسرعة . يمكن أن تجرى العملية على دفعات (المركز يوضع في أوعية ضحلة) أو باستمرار على سير (شـريط) متحرك ، الكتلة الجافة يتم طحنها إلى مسـحوق يذوب بسـهولة . نوعية المسـحوق يمكن أن تكون جيدة نتيجة للتجفيف عند درجة حرارة منخفضـــة ، العملية مكلفة وتســـتخدم فقط لمنتجات معينة مثل بعض تركيبات لبن الأطفال infant formulas . مميزات هذه الطريقة هي أنها يمكن أن تطبق على منتجات غير متجانسة .

3.2.3.10 التجفيف بالتجميد ***Freeze Drying***

تجمد طبقة رقيقة من السـائل ، حيث يتسـامى الثلج تحت تفريغ عالٍ . الكيك الضـخم يترك (فراغات بلورات الثلج تكون الآن ممتلئة بالثقوب) ، ثم بعد ذلك تطحن . الدفعة التصـــنيعية أو العملية المستمرة على الشريط المتحرك تحت تفريغ عالٍ يمكن عملها . الطريقة مكلفة . لا يحدث ضـرر بسـبب التسـخين ، ولكن ذلك يحدث أيضـاً للتجفيف بالرش إذا طُبق بمهارة . عيب هذه الطريقة هي أن كريات الدهن تتعرض لالتحام جزئي ، وهذا يسـبب تجفيفاً بالتبريد لمسـحوق اللبن الكامل أن تتفرق بعد إعادة تكونها . يكون التجفيف بالتجميد مناســباً للعمليات التصـــنيعية بكميات صغيرة وتتم في بادئات حامض اللاكتيك المجففة .

4.2.3.10 التجفيف بالرش ***Spray Drying***

هذه هي الطريقة الشـــائعة . هناك عدة متغيرات ، ولكن هذه هي خطوات العملية الأساسية والتي دائماً ما تستخدم (انظر شكل 14.10) :

1. تســخين الهواء : يســخن الهواء إلى حوالي 200 درجة مئوية ، ويترك المجفف عند درجة 100 مئوية .

2. تذرية المركز في الهواء : هذا ينتج مثل هذه القطرات الصغيرة التي سوف تجف بسرعة كبيرة جداً مع قرص دوار أو فوهة ضغط .
3. خلط الهواء الساخن وسائل التذرية : يحدث التجفيف بتوافق وانسجام ، الهواء والسائل عادة ما يدخلا حجرة التجفيف متزامنين ويخلطا بقوة لدرجة أن الهواء يبرد بسرعة ، وعلى ذلك فالجزء الأكبر من عملية التجفيف يحدث عند درجات حرارة ليست أعلى كثيراً من درجة حرارة المخرج .
4. فصل المسحوق والهواء الجاف المستهلك ، طريقة الدوامات تستخدم دائماً .

5.2.3.10 التجفيف الأخير *Final Drying*

يمكن عند تجفيف سائل ، التعرف على مراحل عديدة ، مثل مرحلة يتحول فيها السائل إلى كتلة صلبة إلى حد ما ، ومرحلة يقل المحتوى المائي للكتلة الصلبة المتكونة (التجفيف النهائي) . يتم في المنتجات اللبنية الحصول على مادة شبه صلبة ذات محتوى مائي يبلغ 8% تقريباً (المنتج لا يكون الناتج لزجاً ويبدو جافاً) ، يحتوي بينما مسحوق على 3% ماء يكون مفضلاً عادة ، خطوة عملية تصنيعية واحدة تشمل كلا مرحلتي التجفيف ، وعلى ذلك فإن التجفيف بالتجميد يجب أن ترتفع درجة أثناء التجفيف النهائي لتكتمل في وقت معقول ، في التجفيف بالرش يستفاد من ميزة فصل التجفيف النهائي ، والذي عادة ما تنجز في الطبقة السائلة Fluid bed بعيداً عن العملية الرئيسية ، وهذا ما يسمى بالتجفيف ذو المرحلتين والذي سيناقش في تحت فصل 5.4.10 .

4.10 التجفيف بالرش *Spray Drying*

سوف يناقش في هذا الفصل التجفيف بالرش بتفصيل أكبر .

1.4.10 شكل المجفف *Drier Configuration*

يوضح شكل 14.10 مثالاً مبسطاً للغاية لتصميم مجفف ، عادة ما يستخدم مجال واسع من الأشكال ، حسب نوع المادة الخام المستعملة ومواصفات المنتج والإمكانيات المحلية

(الموارد) . ومن الطبيعي أن تقليل تكاليف التشـــغيل إلى الحدود الدنيا يكون مطلوباً ، وهذا ليس سهلاً عندما يكون المجفف مستخدماً لمجال منتجات مختلفة ، المتغيرات الرئيسية هي كالتالي :

- تسخين الهواء : عادة ما تستخدم المتبادلات الحرارية ، الوسط الكلاسيكي هو البخار ، ولكن مع ضـغط فوق 9 بار ، ولذلك من الصـعوبة الوصـول لدرجة حرارة فوق 175 درجة مئوية . وعلى ذلك فالغاز الساخن غالباً ما يستخدم الآن ، والذي يمكن الحصول عليه من حرق الغاز الطبيعي الذي يكون سائداً فيه الميثان . احتمال آخر هو الزيت الساخن . يمكن أن يستخدم التسخين الكهربي المباشر للهواء ، يكون الحرق المباشر للغاز الطبيعي في الهواء الجاف اقتصادياً جداً ، ولكنه غير مرغوب فيه (من الناحية الصـــحية غير قانوني) لأنه يســـبب بعض التلوث للمسحوق الناتج بأكاسيد النيتروجين .
- التذرية ودخول الهواء : (شكل 14.10) يوضح قرص دوار يستخدم في تذرية السائل ، تترك القطرات القرص في اتجاه شـعاعي وأفقي . يجب أن تكون حجرة التجفيف واسـعة لكي تمنع وصول القطرات وتكوين الخبث على جدار الحجرة ، عادة ما تكون فتحة دخول الهواء مماسية مسببة حركة متجهة لأسفل مثل الحلزون للهواء الجاف ، عادة فوهات الرذاذ هي المستخدمة ماعدا في المجففات الصـغيرة جداً ، حيث تجهز بعدة فوهات مرتبة في مجموعة أو أكثر . تترك القطرات الفوهات في اتجاه لأسفل . عادة ما يكون دخول الهواء في مركز المجموعة وموجه أيضاً إلى أســـفل . يمكن أن يكون لحجرة التجفيف قطر أصـــغر وعادة ما يكون ارتفاعها أكبر ، عندما تقارن بالمجففات ذات قرص التذرية ، يصمم شكل الحجرة بطريقة ما بحيث يكون خلط الهواء والقطرات ومسار تجفيف القطرات بطريقة مثلى .
- فصـــل الهواء – المســـحوق ، ويتم انجاز ذلك بواســـطة محدثات أعاصـــير وزوابع مرتبة بطرق مختلفة ، في شـكل المجفف كما تم توضـيحه في شـكل 14.10 ، حيث يدور الهواء بقوة (كما يرى من أعلى) ، يعمـل الجزء الخلفي (المخروطي) لحجرة التجفيف ، أيضـــاً كمحـدث للأعاصـير ، وأغلب المسـحوق يفرغ أسـفل ، عادة ما يبرد المسـحوق قبل تعبئته . ما يسـمى

ناعم fine يعني جزيئات المسحوق الأصغر الموجودة ، ترجع إلى المجفف بالقرب من منطقة التذرية . عادة ، يجب أن يكون الهواء نظيفاً قبل أن يرجع إلى الهواء الجوي . عادة ما تستخدم مصافي من القماش على شكل أكياس ، اختيار آخر هو الغسيل الرطب wet washing يؤدي تيار الهواء إلى مسقط رذاذ مائي والذي يعاد تدويره . مخرج الهواء مازال ساخناً ويمكن أن ينقل جزء من الحرارة إلى الهواء الداخل في المبادل الحراري .

- تجمع جزيئات المسحوق : هذا يمكن إنجازه بواسطة فتحة تذرية عندما ترتب الفتحات بطريقة ما لتسمح بتراكب الرذاذ . طريقة أخرى هي بإرجاع جزيئات المسحوق الناعمة The fines في منطقة تكون القطرات فيها مازالت سائلة إلى حد ما . طريقة ثالثة هي إعادة الترطيب في طبقة السائل Fluid bed . في جمع هذه الأحوال يمكن أن تسبب جزيئات المسحوق اللاصقة التحامها مع بعضها .

المرحلة الثانية للتجفيف يمكن إنجازها في أشكال عديدة (انظر تحت فصل 4.5.10) .

2.4.10 التذرية *Atomization*

الغرض من التذرية هو تكوين قطرات دقيقة تجف بسرعة ، ولكن ليست دقيقة لدرجة أن تهرب مع الهواء الخارجي بعد أن تجف . وبالإضافة إلى ذلك المسحوق الناعم جداً له خواص غير مرغوب فيها لأنه يكون صعب الذوبان .

في التذرية القرصية يلف القرص بسرعة كبيرة جداً ، أي 200 أو 300 لفة في الثانية ، هناك عدة أنواع من الأقراص ولكن خاصة ، يقع السائل على القرص ثم يطرح جانباً بسرعة عالية حوالي 100 متر.ثانية$^{-1}$. من مميزات التذرية القرصية التالي :

1. تكون القطرات المتكونة صغيرة نسبياً .
2. لا يحدث عطب للقرص . فمثلاً الشرش المركز الذي حدث له بلورة مسبقة يمكن تذريته .

3. التذرية القرصـــية ما تزال مطبقة عند لزوجة عالية ، اللبن عالي التبخير يمكن معاملته بهذه الطريقة .

من عيوب هذه الطريقة ، تكون فراغات كثيرة في الجزيئات (انظر تحت فصل 2.2.4.10) بالإضـــافة إلى ذلك فإن القطرات تطرح بعيداً عمودية على محور القرص ، ولذلك يجب أن تكون الحجرة واسعة لتمنع القطرات من أن تصل إلى الجدار . وبالتقريب ، المسافة التي تغطيها القطرات في اتجاه شعاعي أفقي هي على الأقل 10^4 مرة من قطر القطرة . عادة ما يدفع السـائل بفوهات الضغط خلال فتحة ضيقة عند ضغط مرتفع (حتى $30\,MPa$) بعد ذلك يعطي حركة دائرية . من مميزات الفتحة الضيقة Nozzle هي تركيبها البسيط ، احتمالية ضبط زاوية رذاذ مخروطي الشكل للسائل الذي حدث له تذرية ، ومحتوى الفراغ المنخفض في جزيئات المسحوق . عندما يجف اللبن تتمزق كريات الدهن إلى كريات أصغر كما لو أجري لها عملية تجنيس . تكون الضغوط المستخدمة متقاربة .

لا يمكن اسـتخدام الفتحات الصـغيرة للسـوائل التي تحتوي على جزيئات صـلبة ، لأنها تصبح مسدودة . تكون لزوجة السائل القصوى المحتملة أقل من الناتجة عن القرص الدوار . يمكن استخدام فتحة ضيقة معينة A given nozzle عند مدى ضيق .

1.2.4.10 التوزيع الحجمي للقطرات *Droplet Size Distribution*

يكون تحديد التوزيع الحجمي للقطرات المتكونة صـــعباً ، يؤخذ عادة المســـحوق الناتج كمقياس ولكن هناك عدة شكوك (1) عادة ما تنكمش القطرات بطريقة غير متساوية ، (2) يمكن أن تحتوي القطرات على فراغات و(3) يمكن أن تتكتل جزيئات المسحوق. ليس هناك طرق متاحة لتحديد حجم الجزيء يمكن الاعتماد عليها كلياً . وبالتالي فإن النتائج المعروضة في شكل 15.10 ليست صحيحة تماماً . في التذرية القرصية يمكن حساب متوسط قطر القطرة كالتالي :

$$d_{vs} = \text{ثابت}\,(Q\eta/\rho N^2 R)^{0.25} \qquad (3.10)$$

حيث Q هي سـعة التغذية (بالمتر[3] ثانية[-1]) ، η هي اللزوجة و ρ هي كثافة السائل المراد تذريته ، N هي عدد لفات القرص في الثانية الواحدة ، R هي قطر القرص (لاحظ أن المركز يظهر سلوكاً غير نيوتوني ويميز بواسطة لزوجة ظاهرية تعتمد على منحنى السرعة ، يصبح منحنى السرعة عالياً أثناء التذرية) . يعتمد الثابت بقوة على التفاصيل التركيبية للقرص ، سوف يكون متوسط حجم القطرة كبيراً عند محتوى المادة الصلبة العالي وعند درجة حرارة منخفضة ، لأن كليهما يؤثران على اللزوجة . بالقرب من 60 درجة مئوية ، تكون d_{vs} متناسبة مع $T^{-0.33}$ (T بالمئوي) . في شكل 15.10 B انخفاض حجم الجزيء بزيادة محتوى المادة الجافة لحوالي 30% الناتجة عن تكوين حجم فراغ كبير في جزيء المسحوق إذا تم تذرية لبن مركز ضعيف (انظر تحت الفصول التالية) .

في تذرية الفتحات الضيقة nozzle atomization ، يمكن حساب d_{vs} كالتالي :

$$d_{vs} = \text{ثابت}\,(Q\eta / P)^{0.33} \qquad (4.10)$$

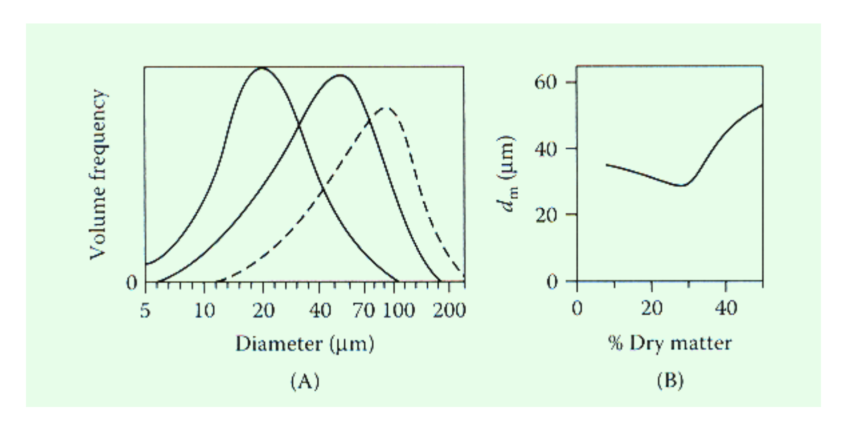
حيث P هي الضغط في السائل قبل ضغط الفتحات الضيقة . يعتمد الثابت بقوة على تركيب الفتحات الضيقة . P و Q لا تتغير كثيراً (وإلا فالفتحات الضيقة لا تعمل إطلاقاً) . عند η عالية القيمة يصبح التوزيع الحجمي واسعاً .

لكي نحصل على قطرات أصغر ، غالباً ما تسخن المركزات لتقليل لزوجتها ، ومع ذلك ، فهذا يجب أن يتم مباشرة قبل التذرية لأن η تزداد بسرعة (في خلال دقائق) عند درجة حرارة عالية خاصة للبن الفرز المركز .

2.2.4.10 فراغات *Vacuoles*

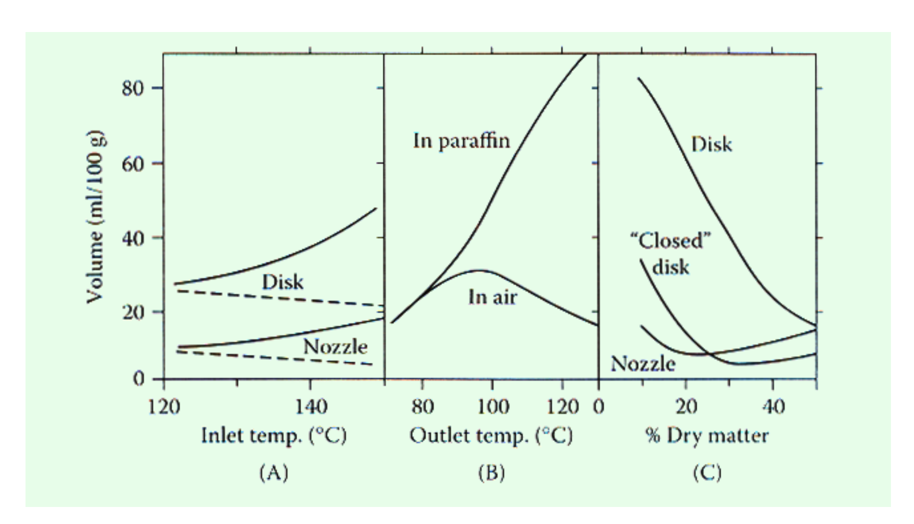
أثناء تذرية سائل ، يتم حصر الهواء في القطرات . وهذا عادة ما يتضمن من 10 إلى 100 فقاعة هواء لكل قطرة عندما نستخدم القرص ، بينما يقل العدد عن ذلك كثيراً باستخدام الفتحات الضيقة Nozzle ، عادة من صفر إلى خلية هواء واحدة لكل قطرة (انظر أيضاً شكل 17.10) . أثناء تجفيف القطرات يدخل بخار الماء فقاعات الهواء

مســـبباً تمددها . لأن بخار الماء يمكن أن ينتشـــر بســـهولة إلى الفراغات عنه عبر الطبقة الخارجية للقطرات التي في ســـبيلها للجفاف، والتي ســـبق تركيزها والتي أصـــبحت قاســـية . وهذا يفســـر لماذا تكون الفراغات فقط ممتلئة جزئياً بالهواء (انظر شـــكل A 16.10) . ارتفاع درجة حرارة التجفيف يزيـد من تمـدد الفراغـات ويكبر حجم الفقـاعـة ، لاحظ أن درجـة حرارة فتحتي الـدخول والخروج تكونـا متعلقـة مع درجة حرارة التجفيف ، وتكون درجة حرارة الخروج عادة أقرب لهما . (انظر تحت فصـــل 3.4.10) تتكون الشـــقوق في جزيئات المســـحوق عند درجة تجفيف عـالية . تجعل هذه الدرجة الفراغات متلامســـة مع الهواء المحيط . عنـدما يكون الحجم النســـبي لجزيئات المســـحوق محدداً في الهواء ، فســـوف يكون حجم الفقاعة منخفضـــاً . بينمـا تلاحظ في زيـت البـارافين قيمـة عـاليـة لهـذه الأحجـام (شـــكـل B 16.10) وذلـك لأن الزيت يخترق الفقاعات ببطء شـــديد ، أي بعد ســـاعات عديدة . بالإضـــافة إلى ذلك يعتمد حجم الفقاعة كثيراً على محتوى المادة الجافة للمركزات (شـــكل C 16.10) وهذا قد يرجع إلى تأثير محتوى المادة الجافة على اللزوجة .



شكل 15.10 حجم جزيء مسحوق لبن الفرز ، المتحصل عليه باستخدام تذرية القرص (–) أو فتحات الضغط (...) . (A) أمثلة لتوزيع معدلات الحجم . (B) تأثير محتوى المادة الجافة للمركز على متوسط القطر

Figure 10.15 Particle size of skim milk powder, obtained by applying disk (–) or pressure nozzle (---) atomization. (A) Examples of the volume frequency distribution. (B0) Influence of the dry-matter content of the concentrate on the median diameter



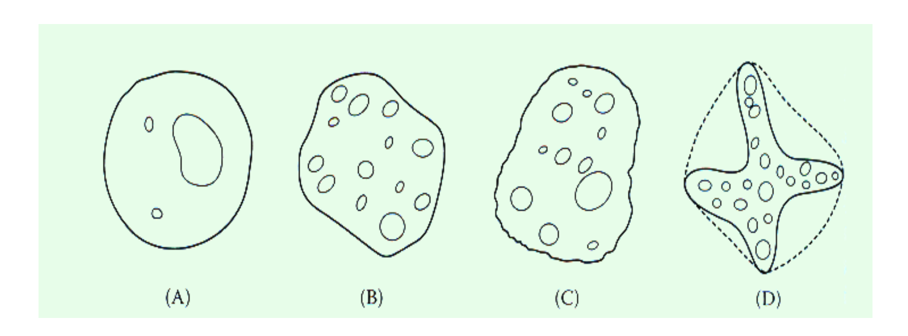
شكل 16.10 حجم الفراغات (–) والهواء المحتجز (...) في المسحوق المتحصل عليه من لبن الفرز المبخر والمجفف بالرذاذ ، تم تقديره بعد التجفيف بوقت قصـــير . (A) تأثير درجة حرارة دخول الهواء (B) تأثير درجة حرارة الخروج ، تذرية بالقرص ، حجم الفراغ تم تحديده في زيت البارافين أو في الهواء (انظر المتن) (C) تأثير محتوى المادة الجافة للمركز وتصميم جهاز التذرية

Figure 10.16 Volume of vacuoles (–) and of retained air (---) in powder obtained by spray-drying evaporated skim milk; determined shortly after drying. (A) Effect of the inlet temperature of the air. (B) Effect of the outlet temperature; disk atomizer. The vacuole volume was determined in paraffin oil or in air (see text). (C) Effect of the dry-matter content of the concentrate and of the construction of the atomizer

اللزوجة المنخفضـة هي جزء من الأشـياء المسـببة لحجم فراغ أكبر عند درجة حرارة تذرية أعلى (والتي لها علاقة بدرجة حرارة الدخول Inlet temperature) .

قبـل وأثنـاء تكوين القطرات ، يمكن أن يحتجز الهواء في القطرات وخـاصـــة عنـدمـا تجرى التـذريـة بـالقرص . الميكـانيكيـة الأولى يمكن اســتبعـادهـا بـإتبـاع تعليمـات المصـــنع للقرص (شـــكـل C 16.10) يمكن تجنب اصــطيـاد الهواء أثنـاء تكون القطرة بـإحلال الهواء حول فتحـات الرش الصـــغيرة أو القرص بـالبخـار . فقـاعـات البخـار التي تم اصـــطيـادهـا

تتكثف ، وبذلك يمكن أن تتكون فقاعات قليلة إذا وجدت . يرفع إحاطة جهاز التذرية atomizer بالبخار من درجة حرارة السائل أثناء عملية التذرية ، ولذلك يمكن أن يسبب زيادة في عدم ذوبانية المسحوق . يعطي شكل 17.10 أمثلة لشكل جزيئات المسحوق المحتوية على فراغات .



شكل 17.10 قطاعات عرضية في جزيئات مسحوق ، رسوم تخطيطية ، المحيط فقط والفراغات تم توضيحها ، وقد تم الحصول عليها بواسطة التجفيف بالرذاذ لـــ (A) اللبن الكامل المبخر ، فتحات ضيقة nozzle ، (B) اللبن الكامل المبخر بالقرص ، (C) اللبن الفرز المبخر بالقرص ، (D) اللبن الفرز بالقرص ، الخطوط المتقطعة توضح المسقط الخارجي للجزيء

Figure 10.17 Cross sections of powder particles. Highly schematic; only circumference and vacuoles are indicated. Obtained by spray drying of (A) evaporated whole milk, nozzle; (B) evaporated whole milk, disk; (C) evaporated skim milk, disk; (C) evaporated skim milk, disk; (D) skim milk, disk. The broken line shows the outer projection of the particle

3.4.10 تغيير حالة هواء التجفيف *Change of State of the drying air*

يمكن أن توضح خواص الهواء الرطب ، في شكل حالة A state diagram عند تحليل عمليات التجفيف ، يكون الشكل المفيد هو شكل موللير Mollier (شكل 18.10) يعطي مثالاً لشكل موللير الجزئي . في المحور الأفقي يتم رسم محتوى الماء بالكيلوجرامات من الماء لكل كيلوجرام هواء جاف ، وفي المحور الرأسي درجة الحرارة (T) بالدرجات المئوية وكذلك الأنثالبي (h)

Einthalpy لوحدة الكتلة ، خطوط T و h ليســـت أفقية . تعرف h بأنها كمية الحرارة المطلوبة لترفع درجة حرارة واحد كيلوجرام من الهواء الجاف + X كيلوجرام من الماء من درجة صـــفر إلى درجـة T المئويـة ، والتي تشـــتمـل على الحرارة اللازمـة لتبخير المـاء ، وعلى ذلـك فـإن h تميز بالكيلوجرام من الهواء الجاف ولكن هي تكون الانثالبي للهواء الرطب ، شاملة بخار الماء .

بالتعريف $h=0$ للهواء الجاف في درجة صفر مئوية للماء في درجة حرارة صفر . الشكل تم تشييده بطريقة ما تضـيف بخار الماء عند درجة الصــفر المئوي إلى الهواء الجاف في درجة T المئوية مكافئة للخط الأفقي من المحور Y . بـدءاً من المحور Y خطوط ثبـات T ترتفع قليلاً عن تلك المكافئة لإضـــافة بخار الماء في درجة T مئوية إلى الهواء الجاف في درجة T مئوية . ميل المنحنى يســـاوي $1.93T$ حيث العامل 1.93 هو الحرارة النوعية لبخار الماء عند ضغط ثابت (بالكيلوجول.كيلوجرام$^{-1}$.كلفن$^{-1}$) . مقياس المعايرة على المحور Y يبقي أو يلزم h وكذلك T لأن $h=T$ (إذا عبر عنها بالكيلوجول . كيلوجرام$^{-1}$) لـ $X=0$ ، تظهر الحرارة النوعية للهواء الجاف عند ثبوت الضغط بدقة واحد كيلوجول.كيلوجرام$^{-1}$ كلفن$^{-1}$. تجري خطوط الثابت h متوازية مع بعضها وتنحدر إلى أسفل بحدة . وهذا يقتضي أنه عند ثبوت T وزيادة x فإن h تزداد معنوياً ، والذي يشنأ من تعريف h ، أي أن h تشمل حرارة التبخير للماء (2500 كيلوجول . كيلوجرام$^{-1}$ عند صفر مئوي) .

تتحدد خواص الهواء بدقة بواسطة نقطة في شكل مولليز (إذا بقى الضغط الجوي ثابتاً لا يتغير) بعض أنواع الخطوط الأخرى يمكن رسمها مثل الكثافة الثابتة أو الضـغط الثابت ، في شـكل 18.10 خطوط ثبات درجة حرارة بصيلة الترمومتر المبلل τ هي درجة حرارة سطح الماء التي يتبخر عندها الماء بســـرعة في الهواء . تتبع خطوط τ دائماً خطوط الثابت h ولكن ليس بدقة ، معرفة كميات τ غاية في الأهمية ، لأن القوة الكارهة لتبخير الماء من القطرة التي تجف لا تنحاز عن واحد كثيراً وطبيعياً ، $T=\tau$ للهواء المشبع ببخار الماء .

يعطي الشكل أيضاً خطوط الرطوبة النسبية الثابتة أو النشاط المائي a_w . ترسم كل هذه منحنية ، أهمية الكمية a_w هي أنها تبين أن النشـــاط المائي للمنتج ، الذي يجف بعد التعادل بين

الهواء والمنتج قد تم الوصول إليه . بالإضافة إلى ذلك ، خط a_w يساوي واحد يعطي الحد الأدنى للشكل ، في قاع الشكل هناك خط يمثل الضغط البخاري المطلق للماء (p_w) عند ضغط جوي ثابت (واحد بار) ، P_w يكون غير معتمد على درجة الحرارة (مع افتراض أن $P_w \geq$ ضغط البخار المشبع ، وعلى ذلك $a_w \leq 1$) .

يمكن أن يستخدم شكل موللير في عمل حسابات على عملية التجفيف . اعتبر مثلاً ، الهواء المميز بنقطة A في الشكل 18.10 . حيث $T = 20$ درجة مئوية و $a_w = 0.7$. تم تسخين الهواء إلى 175 درجة مئوية ، ولأن x تبقى ثابتة (0.010 كيلوجول . كيلوجرام$^{-1}$) ، فإننا نصل إلى النقطة B ، a_w تنخفض بشكل حاد إلى حوالي 0.002 و h تزداد من 45 إلى 203 كيلوجول . كيلوجرام$^{-1}$ والتي تعني أن 158 كيلوجول لكل كيلوجرام من الهواء الجاف (134 كيلوجول.متر$^{-3}$) قد تم تزويده . سوف تغير تذرية سائل مثل لبن الفرز المركز حالات الهواء عبر الخط DB .

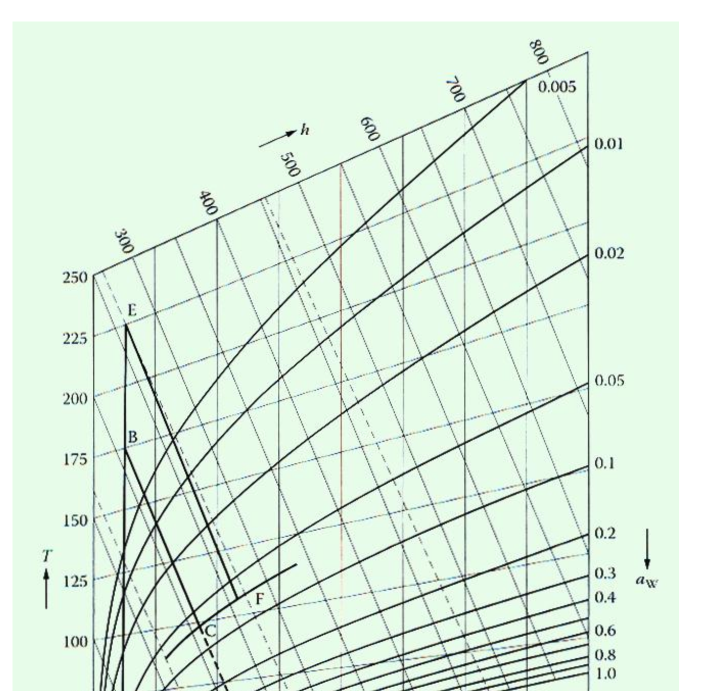
إن درجة الحرارة التي عندها يبرد عندها الهواء الجاف أولياً ، تعتمد على النشاط المائي المقابل . مثالياً يجب أن يؤخذ خط الامتصاص الحراري المتساوي للمنتج المجفف كأساس (شكل 19.10) عند درجة حرارة 70 درجة مئوية ، محنى $a_w = 0.25$ ، يتقاطع مع DB في الشكل 18.10 . a_w تماثل المحتوى المائي لمسحوق اللبن الفرز ولنقل 2.5% (شكل 19.10) . والذي يكون بدون شك ، منخفضاً بدرجة كافية . وبالتالي يمكن ضبط درجة حرارة الخروج إلى 70 درجة مئوية أو أقل . وبسبب المنطق عالية ، يجب الافتراض الضمني أن التعادل بين الهواء الجاف والمسحوق قد تم الوصول إليه ، ولكن هذا الافتراض صحيح بكل الطرق (تحت فصل 4.4.10) . في التطبيق العملي ، يكون التجفيف مستمراً حتى قيمة $a_w = 0.07$ ؛ ونقطة c تكون على الخط DB (شكل 18.10) ، والتي تعادل درجة الحرارة 95 مئوية . وعلى ذلك إذا بلغنا نقطة التعادل ، فيجب أن يكون المحتوى المائي للمسحوق 1% أو حتى أقل من ذلك ، في حين يكون فعلياً 3% .

يوضح شكل موللير أيضاً أن في مثالنا درجة حرارة مستودع الترمومتر المبلل هي حوالي 45 درجة مئوية ، في البداية يكون فرق درجة الحرارة بين الهواء والقطرة 175 درجة مئوية 175°C - 45°C = 130°C على الأكثر ، وتكون على الأقل 50°C = 45°C - 95°C . ولكن الوضـــع الحقيقي يكون أكثر تعقيداً ؛ النظام الحراري في القطرات الجافة سيناقش بالتفصيل في تحت الفصل 4.4.10 .

في مثالنا ، يزداد المحتوى المائي للهواء من 0.010 (في النقطة B) إلى 0.041 (في النقطة C) كيلوجرام لكل كيلوجرام هواء جاف أثناء عملية التجفيف . تذرية اللبن الفرز المركز المحتوي على 54% مادة جافة وتم تجفيفه إلى 97% مادة جافة يحتاج :

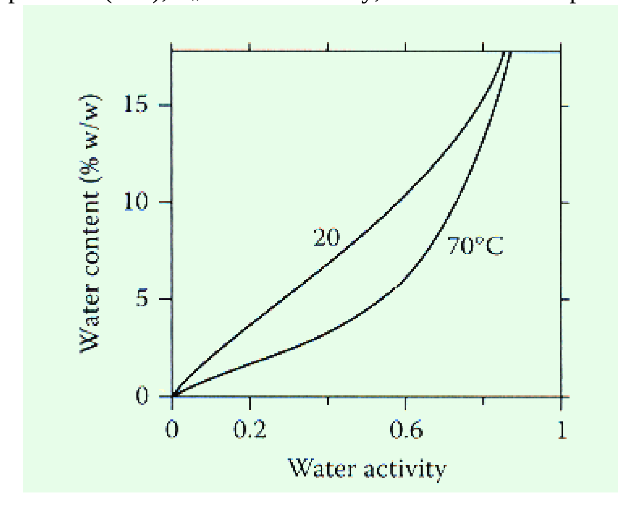
$14.3 = (0.010-0.041)100/[3(97/54)-(54-100)]$ كيلوجرام من الهواء الجـاف لكـل كيلوجرام لبن مركز . وهذا يعادل 12.1 متر^3 هواء بارد لكل كيلوجرام مركز ، لأن كثافة الهواء مع $a_w = 0.7$ هي حوالي 1.18 كيلوجرام.متر$^{-3}$ عند واحد بار و20 درجة مئوية .

كفاءة إنفاق الحرارة يمكن أن تحسب كالتالي . الحرارة الداخلة لكل جرام هواء جاف هي $(T_o - T_i)$ حيث T_i هي درجة حرارة الهواء الســاخن الداخل ، T_o هي درجة الحرارة الخارجية ، و C_p هي الحرارة النوعية عند ضــغط ثابت . الحرارة الخارجة هي $C_p(T_i - T_e)$ حيث T_e هي درجة الحرارة الخارجة Outlet temperature للهواء المســتنفذ لأن C_p للهواء تعتمد على محتواه المائي ، الكفــاءة يمكن أن تعرف كــــــ $(T_o - T_i)/(T_e - T_i)$ في الحــالــة الحــاليــة ســـوف تكون $(175-95)/(175-20)$ تســاوي 52% كمية الحرارة التي تم اســتهلاكها لكل كمية من الماء المبخر هي $(X_i - X_e)/(h_o - h_i)$ أو $5097 = (0.010-0.041)/(45-203)$ كيلوجول.كيلوجرام$^{-1}$ والتي تعـادل حوالي 2.35 كيلوجرام بخار لكل كيلوجرام من المـاء المبخر ، وبذلـك تكون الكفـاءة غير عالية .



شـكل 18.10 شـكل موللير الجزئي للهواء الرطب عند ضـغط 10^5 بار (واحد بار = 0.987 ضـغط جوي) x = المحتوى المائي بالكيلوجرام/كيلوجرام هواء جاف ، T درجة حرارة الهواء (درجة مئوية) ، h الانثالبي الهواء الرطب بالكيلوجول/كيلوجرام هواء جاف ، P_w ضـــغط بخار الماء المطلق (kPa) ، a_w = النشاط المائي ، τ = درجة حرارة بصيلة الترمومتر المبلل (الخطوط المتقطعة)

Figure 10.18 Partial Mollier diagram of moist air at a pressure of 10^5 Pa (= 1 bar ≈ 0.987 atm). x = water content in kg/kg dry air; T = temperature of the air (°C); h = enthalpy of the moist air in kJ per kg dry air; p_w = absolute water vapor pressure (kPa); a_w = water activity; τ = wet-bulb temperature (broken lines)



شكل 19.10 منحنيات الادمصاص التقريبية للبن الفرز به لاكتوز غير متبلور عند درجة 20 و 70 درجة مئوية

Figure 10.19 Approximate desorption isothems of skim milk with noncrystallized lactose at 20°C and 70°C

تسخين الهواء من 20 إلى 225 درجة مئوية أي من A إلى E في شكل 18.10 يقتضي التجفيف حتى النقطة F إذا تم الوصول إلى نفس a_w للهواء ، وهذا يعني التجفيف إلى درجة حرارة 106 مئوية ، وبالتالي إلى درجة خروج عالية **higher outlet temperature** متوسط درجة حرارة مستودع الترمومتر المبلل في هذا الوقت هي حوالي 50 درجة مئوية ، كميات الفاعلية إلى $(225-106)/(225-20)$ أو 58% و4480 كيلوجول أو 2.08 كيلوجرام بخار تحتاج إليه لكل كيلوجرام ماء متبخر ، وبمعنى آخر كلما كانت درجة حرارة الدخول عالية ، كلما كانت الكفاءة عالية ، وبالطبع هناك حد أعلى بالنسبة لدرجة حرارة الدخول ، نتيجة للتكسير والأعطاب التي تسببها الحرارة للمنتج (تحت فصل 4.4.10) بالإضافة على ذلك يمكن أن يشتعل المسحوق في حجرة التجفيف إذا ظل هناك فترة طويلة عند درجة حرارة عالية (وهذا يخص المسحوق المترسب في أي مكان في المعدة) . يمكن حدوث الاشتعال عند 140 درجة مئوية ، عند درجة حرارة 220 مئوية ، الوقت اللازم لحدوث الاشتعال الفوري هو 5 دقائق .

يمكن أن يستخدم شكل موللير أيضاً لدراسة تأثيرات الحرارة المتغيرة أو المحتوى المائي للهواء الخارجي ، تأثير إعادة استخدام الهواء (عند خلطه مع الهواء النقي الجديد) .

باختصار ، يمكن أن يستخدم شكل موللير في تقييم كفاءة عملية التجفيف والتنبؤ بما سوف يحدث إذا تغيرت الظروف في المجفف ، ولكنها لا تعير بالاً لتأثير الاختلاف في توزيع حجم القطرات ، بعض العلاقات العامة هي :

- عندما تزداد T_i فإن قيمة T_e يجب أيضاً أن تزداد ، ولكن بكمية أصغر كثيراً من T_i لكي تظل عند محتوى مائي ثابت في المسحوق . وهذا يمكن تحقيقه بالمحافظة على قيمة a_w ثابتة في هواء الخروج .
- إذا وجب زيادة نسبة المحتوى المائي في المسحوق ، فيجب زيادة قيمة a_w في الهواء الخارج ، وعلى ذلك يجب أن تكون T_e منخفضة ، وتعتمد إلى حد ما على العلاقة بين a_w والمحتوى المائي للمسحوق .
- إذا ازداد محتوى المادة الجافة للمركز الداخل للمجفف أو درجة حرارته انخفضت ، فإن نتيجة التذرية تكون قطرات أكبر ، لزيادة اللزوجة ولكي نحافظ على المحتوى المائي للمنتج ثابتاً ، فإن قيمة a_w للهواء الخارج يجب أن تكون منخفضة وعلى ذلك يجب أن تكون T_e مرتفعة .

من الخطوات الشائعة للتحكم في المحتوى المائي للمسحوق والذي يتغير نتيجة للتذبذبات الصغيرة في عمليات التبخير والتجفيف ، بواسطة ضبط المدد المركز بطريقة ما بحيث تكون T_e ثابتة ، إذا ازدادت T_e فإن تدفق أو انسياب المركز يزداد ، والعكس صحيح . النقاط التي تم ذكرها تدل على أن ذلك ليس صحيحاً بالكامل . هناك طرق معقدة وأكثر دقة (برامج حاسوب) تم ابتكارها لكي نحسن التحكم في عملية التجفيف .

4.4.10 التغيرات في حالة القطرات الجافة

Changes of State of the Drying Droplets

تذرية ماء نقي في حجرة التجفيف بالطرق العادية يؤدي إلى وصـــول قطرات الماء إلى مســـتودع الترمومتر المبلل والتحول لبخار في 0.1 ثانية عند هذه الحرارة . وجود المادة الجافة في القطرات يسبب اختلافاً هائلاً . شكل 13.10 ، يوضح أن معامل انتشار الماء يقل بزيادة المحتوى من المادة الصـــلبة (أي من 10^{-9} إلى 10^{-13} متر^2. ثانية$^{-1}$ وعلى ذلك ، تقل عملية التبخير معنوياً . في القطرة التي تجف ، ويبقى الانتشار الحراري عند 10^{-7} متر^2 . ثانية$^{-1}$ ، وهذا يقتضي أنه في معظم القطرات يحدث تعادل حراري Temperature equalization في أقل من حوالي 10 ملي ثانية ، بمعنى آخر تكون الحرارة ثابتة خلال القطرة ولكن ليس عند بداية التجفيف .

1.4.4.10 مراحل التجفيف ***Drying Stages***

في البداية يكون للقطرة لزوجة عالية جداً بالنســـبة للهواء الجاف ، وعلى ذلك فهناك خطوة أولى يحدث أثناءها سريان السائل في القطرة ؛ هذا السريان يسرع كثيراً نقل الحرارة والكتلة . لقطرة قطرها 50 ميكرومتر ، تستمر هذه المرحلة 2 ملي ثانية . في هذا الوقت تقطع القطرة مسافة قدرها 10 سنتيمتر وتفقد نسبة صغيرة من مائها . وسرعتها مقارنة بالهواء تقل إلى درجة أن معدل التوتر السطحي المتكون لسطح القطرة يوقف السريان الداخلي للسائل . ولكن في مرحلة التجفيف الثانية . يكون الاختلاف في السرعة بين القطرة والهواء أكبر بدرجة كافية لتسريع نقل الماء . يحدث النقل في القطرة بالانتشـــار ولكن في الهواء يتم بالحمل . بعد حوالي 25 ملي ثانية السـرعة النسـبية للقطرة تقل لدرجة أن نقل الماء قد أصـــبح مســـاوياً لما هو موجود في القطرة الســـاكنة . بالنســـبة للهواء ، تقطع القطرة بعد ذلك مســـافة تقدر بديســـيمترات قليلة ، وتكون قد فقدت 30% من مائها الأصـــلي . في المرحلة الثالثة والتي تســـتمر على الأقل لثوان قليلة ، تفقد القطرة باقي مائها بالانتشار .

2.4.4.10 منحنى التجفيف ***Drying Curve***

نفترض من اللحظة التي يظل الهواء الجاف والقطرة في تعادل مع بعضهما ، تصل القطرة إلى درجة حرارة مستودع الترمومتر المبلل وتحافظ على هذه الدرجة حتى يتبخر كل الماء الموجود . وإذا حدث ذلك ، ترتفع درجة حرارة القطرة فقط لأن زيادة تركيز المادة الجافة يؤدي حتماً إلى ارتفاع معنوي لنقطة الغليان (وهذا مكافئ للنقص في قيمة a_w للقطرة التي في طريقها للجفاف) . تصل القطرة الجافة أخيراً إلى درجة حرارة الفتحة الخارجية للهواء المستهلك . شكل 20.10 يوضح ذلك ليطبق جيداً على قطرة الماء . ولكن منحنى درجة الحرارة يتغير بالكامل إذا تورطت المادة الجافة قطرة من سائل عالي التركيز لم تصل بعد لدرجة حرارة مستودع الترمومتر المبلل لبعض الوقت . لاحظ في شكل 20.10 أن الوقت المطلوب للوصول إلى مرحلة معينة في عملية التجفيف يكون متناسباً مع الجذر التربيعي لقطر القطرة الابتدائي .

يشير شكل 20.10 إلى عملية التجفيف في هواء ساكن درجة حرارته ورطوبته ثابتتان. يكون الوضع في المجفف بالرذاذ مختلفاً جداً . تنخفض أثناء التجفيف درجة حرارة الهواء وتزداد رطوبة الهواء الجاف . بالإضافة إلى ذلك تختلف القطرات في الحجم ، والقطرات الأصغر سوف تجف بسرعة . بعض النتائج المحسوبة تم إعطاؤها في شكل 21.10 لتوزيع حجم قطرة ذات عرض معتاد ، قطرات لأحجام ثلاثة تم أخذها كأمثلة ، وهي تخص حجمان متطرفان في خلط الهواء والقطرات ، عندما يكون التياران متضادين . ومن الواضح أن ، القطرات الأصغر سوف تصبح أسخن من القطرات الأكبر ، وسوف تفقد بسرعة أغلب الماء مسببة زيادة درجة حرارة بصيلة الترمومتر المبلل بسرعة . الحالة الأخرى تكون ذات الخلط التام . وهذا سوف يقتضي أن الهواء يكون له درجة حرارة فتحة الخروج حالاً ، والقطرات الجافة لا تصبح أبداً أسخن . وبالتالي يكون الجفاف أبطأ . بالرغم من أن القطرات الأصغر ما تزال تجف أسرع من القطرات الأكبر .

عملياً ، يكون الخلط دائماً بين الحجمين المتطرفين . للمجففات ذات القرص الدوار ، يميل الوضع إلى كونه قريباً للخلط الكامل ، في أغلب المجففات ذات الثقوب ، تميل إلى أن تكون

أقرب إلى السيل المضاد . وفي جميع الحالات يمكن أن يختلف وقت التجفيف بعامل قدره 100 بين القطرات الأصغر والأكبر . وهذا يكون هاماً جداً لتكون الخبث لحجرة التجفيف ، القطرات الأكبر يكون لديها الفرصة الأعظم في ضرب الجدار ، وان تصبح غير كافية الجفاف لكي تمنع الالتصاق بالجدار .

عامل آخر يؤثر على معدل التجفيف ، هو وجود فراغات في القطرات الجافة (والتي أُخذت في الاعتبار في حسابات الشكل) . وهي تؤدي إلى الجفاف المعنوي السريع .

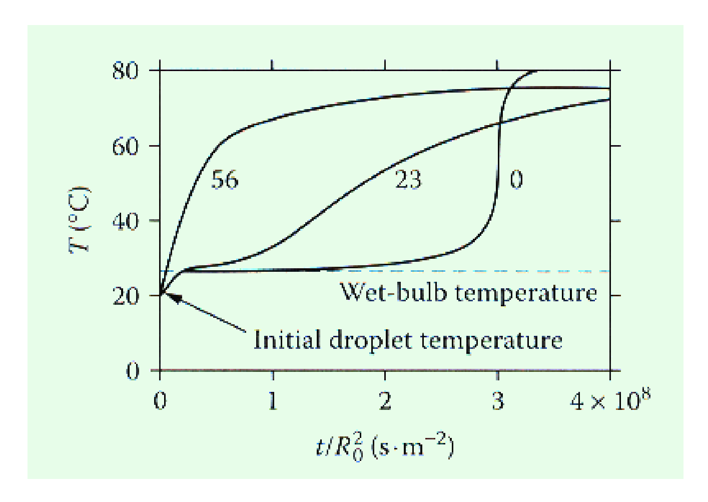
3.4.4.10 منحدرات التركيز *Concentration Gradients*

ما يسببه الانخفاض السريع في معدل تجفيف القطرات بعد انخفاض المحتوى المائي إلى 15% . شكل 22.10 يوضح أن منحدر تركيز قوي يتكون بسرعة أثناء التجفيف . كلما ارتفعت درجة حرارة التجفيف ، كلما كان التأثير أقوى (وهذا يشرح لماذا يحدث منحدر أقوى للتيار العكسي للتجفيف) . وليس مدهشاً ، أن تتكون طبقة خارجية جافة بسبب ذلك . نقل الماء يتم إبطاؤه بشكل ملحوظ . درجة الحرارة يمكن أن ترتفع معنوياً في الطبقة الخارجية الجافة لأن المادة الجافة تتولى درجة حرارة الهواء ، وليس درجة حرارة بصيلة الترمومتر المبلل . بمعنى آخر ، الانخفاض في درجة الحرارة بالقرب من سطح القطرة (سببها استهلاك حرارة التبخير) يصبح الأصغر لأن تبخر الماء يكون بطيئاً . ولأن التعادل الحراري يحدث بسرعة جداً ، فإن درجة حرارة القطرة الجافة بكاملها تزداد .

طبيعياً ، منحدر التركيز كما هو موضح في شكل 22.10 لا يكون له طبيعة مستمرة . دعنا نعتبر قطرة تم جفافها في 5 ؛ ثوان وبالتالي فإنها تنفصل وتنعزل عن محيطها . سوف يصبح الماء موزعاً بواسطة الانتشار وتصل حوالي 6% خلال القطرة . يأخذ الوصول لحالة التعادل وقتاً معتبراً لأن معامل الانتشار الفعال D للماء يكون 10^{-13} متر^2.ثانية$^{-1}$ (شكل 13.10) . من المعادلة $t_{0.5}D = X^2$ ، وعلى اعتبار أن المسافة X يجب أن تغطي حوالي 10^{-5} متر ، ويمكن أن

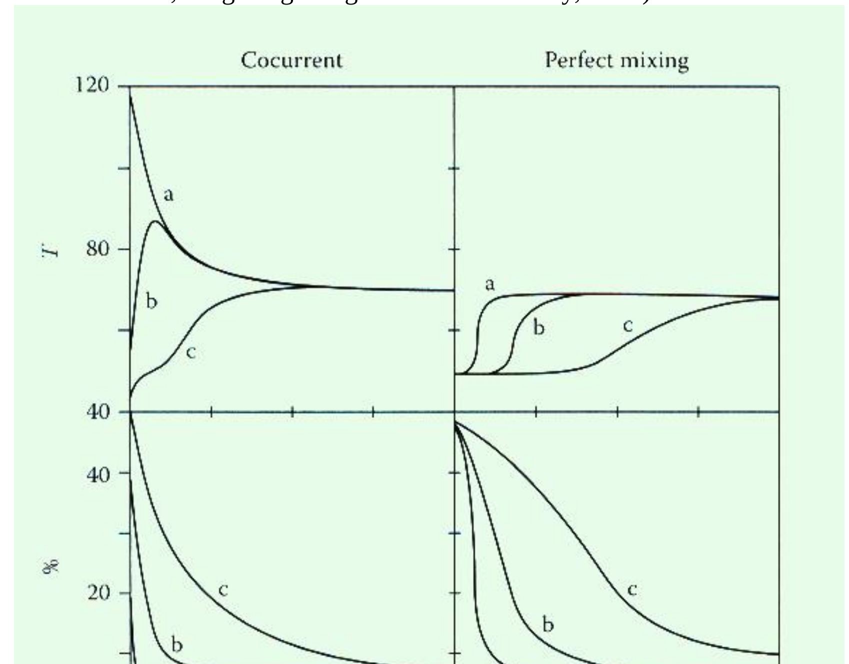
نسـتنتج أن الوقت اللازم لنصـف فرق التركيز تسـاوي حوالي 10^3 متر ، وسـوف تأخذ على الأقل ساعة لمنحدر التركيز لكي يصبح صغيراً جداً ويمكن إهماله .

إن الطبقة الخارجية الجافة نسبياً للقطرة تصبح صلبة وزجاجية في الحال . وهذا يسبب أن القطرة تقاوم الانكماش ، يمكن أن تتفاعل القطرة بواسـطة تكوين فراغات (انظر تحت فصـل 2.2.4.10) ، أو بواسطة تكون نقر في القطرة (انظر شكل D 17.10) . خاصة عند محتوى مائي منخفض في الجزيء ، يتكون ما يسمى شروخاً .



شـكل 20.10 درجة حرارة القطرة الثابتة (T) والتي تدخل هواءً جافاً زائداً عند درجة حرارة 80 مئوية كدالة عن الوقت المختزل (t = الوقت بعد دخول القطرة ، R_o = نصـف القطرة الأصـلية) . الأشـكال بالقرب من المحنيات تشير إلى نسبة محتوى المادة الجافة في القطرة الأصلية

Figure 10.20 Temperature (T) of a stationary droplet that enters an excess of dry air of 80°C as a function of the reduced time (t = time after introducing the droplet; R_0 = original radius of droplet). The figures near the curves refer to the content (%) of dry matter in the original droplet. (Measured by J. van der Lijn, Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, 1976)



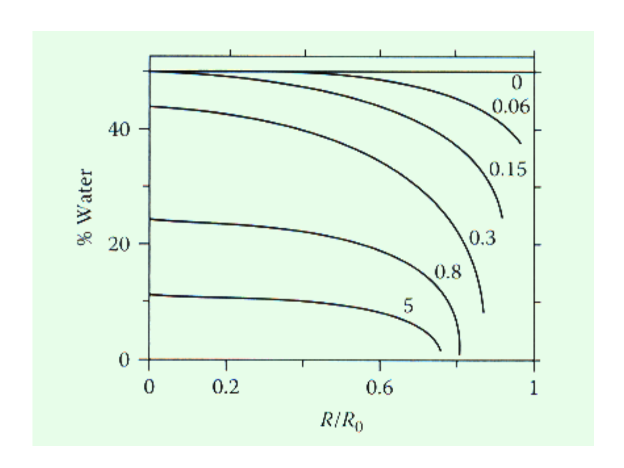
شـكل 21.10 منحنيات التجفيف المحسـوبة لقطرات في مجفف بالرذاذ . درجة الحرارة (T بالمئوي) والمحتوى المائي (%) لقطرات ذات حجم مختلف كـدالـة عن وقـت التجفيف (t بـالثـانيـة) . حجم القطرة (a) 60 ، (b) 100 ، (c) 180 ميكرومتر ، الظروف ، التياران متضـــادان للقطرات والهواء ، أو الخلط الكامل ، $T_i = 220$ ، $T_e = 70$ درجة مئوية ، التذرية بالثقوب الضـــيقة nozzle محتوى المادة الجافة الابتدائي 50% لوغاريتم توزيع حجم القطرة العادية (حيود الشكل الهندسي القياسي 0.6

Figure 10.21 Calculated drying curves for droplets in a spray drier. Temperature (T, °C) and water content (%) of drops of various size as a function of drying time (t, s). Drop size: (a) 60, (b) 100, (c) 180 μm. Conditions: cocurrent flow of drops and air, or perfect mixing; T_i = 220, T_c = 70°C; nozzle atomization; initial dry-matter content 50%; lognormal drop size distribution (geometric standard deviation 0.6). (Courtesy of J. Staatsma, NIZO Food Research, Ede)

4.4.4.10 احتجاز النكهة *Aroma Retention*

تفقد القطرة الجافة بجانب الماء ، مكونات أخرى متطايرة ، شـــاملة مكونات النكهة

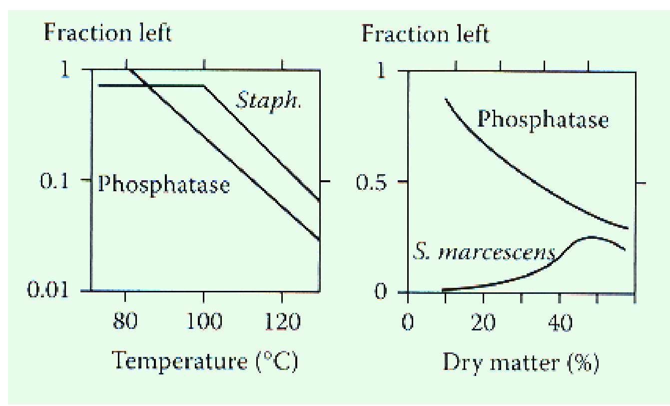
(Aroma) . يكون فقد مكونات النكهة في حالات كثيرة ، أقل من المتوقع ، بالرغم من تطايرها ، وهذا لأن معامل الانتشـــار الفعال لأغلب مكونات النكهة في الطبقة الخارجية الجافة



شكل 22.10 المحتوى المائي للقطرة المجففة كدالة على المسافة R من مركز القطرة ؛ R_o = نصف قطر القطرة الأصلية . المؤشر هو وقت التجفيف (S) لـ $R_o = 25$ ميكرومتر . درجة حرارة ثقب الدخول 175 درجة مئوية ، درجة حرارة ثقب الخروج هي 70 درجة مئوية ، خلط كامل

Figure 10.22 Water content of a drying droplet as a function of the distance R from the center of the droplet; R_0 = radius of original droplet. Parameter is drying time (s) for $R_0 = 25$ μm. Inlet temperature 175°C; outlet temperature 70°C; perfect mixing. (Examples calculated by J. van der Lijn, Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University, 1976)

بقوة مع انخفاض المحتوى المائي عن معامل انتشـــار الماء (نتيجة لكبر الكتلة المولارية) . الاختلاف يمكن أن يساوي لبعض درجات القوة . وليس مستغرباً أن احتجاز النكهة يزداد مع حجم القطرة (في القطرات الكبيرة للطبقة السطحية الخارجية والتي تفقد مكونات النكهة حجم أصغر نسبياً) ومع درجات حرارة التســخين (عند درجة حرارة أعلى تتكون القشـــرة الصـــلبة بســـرعة



شـكل 23.10 أمثلة لتأثير درجة حرارة الهواء الجاف عند ثقب الخروج ، ومحتوى المادة الجافة لمركز أثناء التذرية عند تثبيط إنزيم الفوسفاتيز القاعدي ، وقتل النوع ستافيلوكوكس وسبوراتيا ماريسينز (الحساسة جداً للحرارة) . نتائج تقريبية

Figure 10.23 Examples of the effect of the outlet temperature of the drying air, and of the dry-matter content of the concentrate during atomization, on the inactivation of the enzyme alkaline phosphatase and the killing of a *Staphylococcus* species and of (the very heat-sensitive) *Serratia marcescens*. Approximate results

أكبر) . يقلل تكون الفراغات احتجاز النكهة خاصـة إذا تكونت الشـقوق في الجزيئات ، وتصبح الفراغات على اتصـال مع الهواء المحيط . في التجربة المذكورة في شـكل 16.10 B ،فقد المكونات المتطايرة كان دائماً متناسـباً مع الفرق بين حجم الفراغات ، كما تم تحديده في زيت البارافين والموجود في الهواء . يمكن أن يخترق الهواء الشـقوق في الجزيئات أثناء القياسـات ، بينما لا يسـتطيع ذلك زيت البارافين اللزج .

5.4.4.10 الضرر الذي تسببه عملية التسخين *Damage Caused by Heating*

يمكن أن تؤدي درجات الحرارة العالية إلى تغيرات غير مرغوبة في المنتج المجفف . عادة ما نلاحظ هذه التغيرات فقط بعد تذويب المسحوق .

ويمكن أن نفهم العلاقات بين درجة الحرارة ومحتوى المادة الصـلبة للقطرات كدالة عن الوقت في جانب واحد والمدى الناتج للتفاعلات الحادثة من الجانب الآخر . شكل 18.10 وشكل

21.10 يعطيان معلومات هامة ، يتضح حالاً استنتاج واحد من الشكل الأخير وهو أن الخلط التام يعطي درجات حرارة قطرة منخفضة ، ومن ثم تفاعلات بطيئة ، بالإضافة إلى سريان مضاد .

يمكن التعرف على ثلاث مجموعات مختلفة من تغيرات غير مرغوبة :

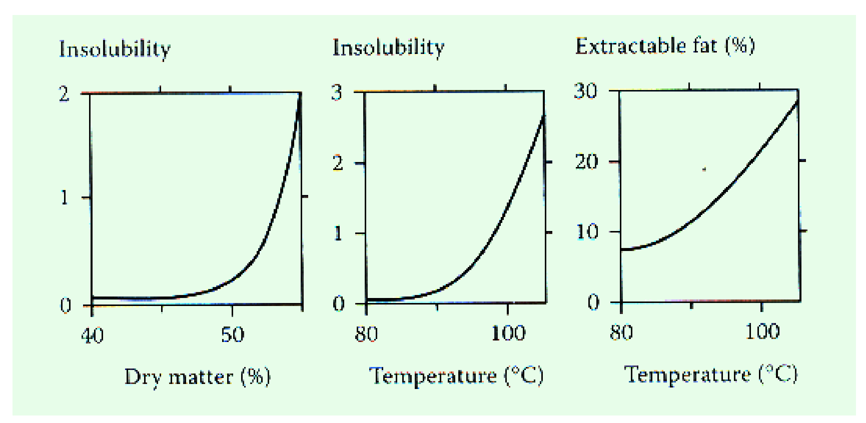
- الدنترة بالحرارة وقتل الميكروبات Heat denaturation and killing of Microbes : هذا الموضوع تمت مناقشته في فصل 3.7 وتحت فصل 5.1.10 . جانب هام هو أن معدل التفاعل يكون معتمداً على درجة الحرارة بصورة كبيرة ، ولكن هذا التفاعل يكون أبطأ وأقل اعتماداً على الحرارة عند محتوى مائي منخفض ؛ انظر خاصة جدول 5.7 . من الملاحظ أن T_e أعلى – ومن ثم معدل أعلى لدرجة حرارة التجفيف – تعطي تثبيطاً أكبر . وبالمثل يكون صحيحاً لمحتوى المادة الجافة الأعلى للسوائل . والسبب الرئيسي هو أن هذا يتم مع اللزوجة العالية ومن ثم القطرات المتوسطة والكبيرة . ولذلك نحتاج إلى وقت تسخين أطول عند محتوى مادة جافة يكون فيها معدل التثبيط مازال ممكناً تقديره . تذكر أن القطرات الكبيرة تحتوي على كمية من مادة أكبر .

والمثل يكون صحيحاً بالنسبة لقتل البكتيريا ، ماعدا لتأثير محتوى المادة الجافة . تكون الزيادة الأولية للتواجد الحي لبكتيريا *S. marcesscens* بزيادة محتوى المادة الجافة نتيجة الانخفاض الجوهري في حساسية الكائن للحرارة .

عندما نجفف مزرعة بادئ بالرش ، يكون تواجد البكتيريا الحية ذا أهمية أسمى ، ولكي نحقق هذا الهدف ، فلابد للمجفف أن يبدئ خلطاً تاماً للهواء والقطرات . وأن تكون القطرات المتكونة صغيرة و T_e منخفضة نسبياً . تقتضي الأخيرة أن T_i يجب أيضاً أن تكون منخفضة وإلا سوف يظل المحتوى المائي للمسحوق مرتفعاً . بالإضافة إلى ذلك ، يجب أن يبرد المسحوق مباشرة ، نسب عالية نسبياً من مادة خاملة ، وعادة ما تضاف مادة ميلتوديكسترين إلى السائل

قبل التجفيف ، والتي تخفض حساسية البكتيريا للحرارة . وبهذه الطريقة يمكن أن نحصل على معدلات بقاء حي أعلى من 80% .

- عدم الذوبان Insolubility ، يمكن أن يصبح جزء من البروتين عديم الذوبان أثناء عملية التجفيف . وهذا يكون راجعاً إلى حرارة التجبن Heat Coagulation (تحت فصل 4.2.7). سوف يناقش عدم الذوبان في تحت فصل 2.5.4.20 : يحتوي المسحوق على جزيئات لا تذوب في الماء ، ولكن تكون الكمية جزء ضئيل من المسحوق . شكل 24.10 يوضح أن عدم الذوبان يزداد بزيادة T_e وزيادة محتوى المادة الصلبة في اللبن . وكذلك يعتمد أيضاً على تصميم المجفف . وعلى افتراض أن حرارة التجبن تحدث أساساً في بعض القطرات أو جزيئات المسحوق التي يعاد تدويرها في المجفف وتصبح مبللة ثانية . سوف يسبب تراكم درجات الحرارة العالية ومحتوى المادة الجافة العالي لوقت طويل المشكلة . تميل المجففات الحديثة إلى تقديم أشكال عدم ذوبان صغيرة جداً .
- تكوين شقوق شعرية Formation of hair cracks : هذه يمكن أن تتكون عند درجات حرارة تجفيف عالية ، لأن القشرة الخارجية للقطرة التي تجف تصل فوراً إلى الحالة الزجاجية . تسبب منحدرات الضغط المتكونة في الجزيء تكون هذه الشقوق الرفيعة للغاية (وهذه تمت مناقشتها بالنسبة لشكل B 16.10) . إذا كانت تخص مسحوق اللبن كله ، يمكن استخلاص جزء من الدهن من المسحوق بمذيب مثل الكلوروفورم أو مذيب بترولي خفيف . النتيجة موضحة في شكل 24.10 . الدهن المستخلص عادة ما يسمى الدهن الحر ، ولكن هذا المصطلح مضلل وخادع (انظر تحت فصل 2.4.20) .



شـــكل 24.10 تأثير محتوى المادة الجافة للمركز أثناء عملية التذرية ودرجة حرارة ثقب الخروج ، في معامل عدم الذوبان (طريقة ADM) لمسحوق اللبن الفرز الناتج . تأثير درجة حرارة ثقب الخروج على نسبة الدهن المستخلص من مسحوق اللبن الكامل الناتج . أمثلة تقريبية

Figure 10.24 Effect of the dry-matter content of the concentrate during atomization, and of the air outlet temperature, on the insolubility index (ADMI method) of the resulting skim milk powder. Effect of outlet temperature on the percentage of the fat extracted from the resulting whole milk powder. Approximate examples

5.4.10 التجفيف ذو المرحلتين *Two-Stage Drying*

كما ذكرنا سـابقاً ، التجفيف بالرش مكلف نسـبياً بالنسـبة للطاقة ، بالإضـافة إلى ذلك فإن ثمن المجفف يكون مرتفعاً . يمكن الحصـول على قدرة أعلى بزيادة عامل التركيز للبن قبل التذرية وباســـتخدام درجة حرارة منفذ دخول الهواء مرتفعة ، ولكن هذه الاحتياطات يمكن أن تؤدي إلى ضـــرر للمنتج . وبالتالي يمكن أن ينفصـــل المســـحوق عن الهواء قبل أن يجف تماماً ، بينما يحدث تجفيف إضـــافي خـارج حجرة التجفيف . وبهـذه الطريقـة يمكن لـدرجـة حرارة منفـذ الخروج أن تنخفض ، ويســـمح لدرجة حرارة منفذ دخول الهواء أن تكون أعلى دون زيادة أضـــرار الحرارة الناتجة . بالإضافة على ذلك يمكن أن تجف كمية أكبر من المركز لكل وحدة وقت .

يمكن أن يفرغ المســـحوق من حجرة التجفيف بعد أن يصـــبح جافاً لأنه فقد لزوجته . مشـكلة اللزوجة هي أقل من المتوقع بسـبب منحدر التركيز المتكون في جزيئات المسـحوق . اعتبر مثلاً المنحنى لـ 0.8 ثانية في شكل 22.10 في مركز الجزيء المحتوى المائي هو 24% وهي تكون في

المتوســـط حوالي 13% ، ولكن حوالي 2% فقط عند الأطراف . وعلى افتراض أن هذه الجزيئات سوف تظل لزجة قليلاً لأن (1) اللزوجة (القابلية للالتصاق بالمعدة) تزداد بصورة ملموسة مع درجة الحرارة ، و (2) بعد إزالة هواء التجفيف خارج جزيئات المسحوق يزداد بسرعة محتواها المائي نتيجة للتبادل الخارجي للماء . بالإضافة على ذلك ، سوف تكون الجزيئات الأكبر أكثر بللاً "wetter" ومن ثم أكثر لزوجة . ولكن المســـحوق ذو محتوى مائي قدره 8% يمكن أن يفرغ بواســـطة مكون أعاصير .

التجفيف النهائي عادة ما يتم انجازه في مجفف الطبقة السائلة . طبقة المسحوق المترسبة على لوح مثقب يمكن أن يسيل بواسطة نفخ الهواء خلال الطبقة من أسفل . في مثل هذه الطبقة المسيلة ، تكون طبقة المسحوق ممتدة ومحتوية على كسر حجمي عالي للهواء ؛ يمكن أن يسيل المخلوط مثل الســـائل ، إذا كان القرص المثقب مغطى قليلاً ، فالجزيئات في الطبقة تكون في حركة انحراف مستمر ، والذي يسرع معدل التجفيف . تكون حالات السيولة هي (1) الجزيئات أكبر من حوالي 20 ميكرومتر (ولكن أصـــغر من مليلمترات قليلة) وتوزيعها الحجمي لا يكون واســـعاً جداً ، و (2) يكون انســـياب الهواء موزعاً فوق الطبقة وســـرعة مناســـبة أي حوالي 0.3 متر/ثانية لأغلب المســـاحيق المجففة بالرذاذ ، عادة يكون التوزيع الحجمي لجزيئات مســـحوق اللبن واسعاً جداً ، إذا كل الجزيئات المراد تسييلها شاملة الجزيئات الأكبر ، يجب أن تكون سرعة الهواء مرتفعة لكي تنفخ الجزيئات الأصـغر بعيداً عن الطبقة ، ولكي نتجنب هذه المشـكلة ، نجعل الآلة تهتز ، وهذا يســمح بالسيولة عند سرعة هواء منخفضة ، يمكن أن يثبت مجفف الطبقة المســالة بمجفف بالرذاذ (بواسطة أنبوبة مرنة) . كما هو موضح في شكل 25.10 a .

في المجفف بـالرش تكون درجـة حرارة منفـذ دخول الهواء مرتفعـة ؛ وقـت احتجـاز hold up time يكون المســـحوق قصـيراً أي لثوانٍ قليلة . في مجفف الطبقة المســالة تكون درجة حرارة منفذ دخول الهواء منخفضة نسبياً (أي 130 درجة مئوية) ، يتم استهلاك هواء قليل ، ووقت بقاء المســـحوق يكون أطول أي عدة دقائق . وبســـبب ذلك يكون مجفف الطبقة الســـائلة أكثر

ملاءمة لمراحل التجفيف النهائية . فمثلاً في مقارنة بين المجفف التقليدي والمجفف ذي المرحلتين باستخدام نفس التجفيف بالرذاذ ، ففي مركز اللبن الفرز المحتوي على مادة جافة قدرها 48% ، ومجففة إلى نفس المحتوى المائي أي 3.5% يمكن أن يعطي التالي :

عدد المراحل	1	2
درجة حرارة هواء فتحة الدخول (°C)	200	250
درجة حرارة هواء فتحة الخروج (°C)	94	87
هواء الخروج للحجرة استهلاك الحرارة الكلية (كيلوجول/كيلوجرام ماء) a_w	0.09	0.17
استهلاك الحرارة الكلية (كيلوجول/كيلوجرام ماء)	4330	3610
السعة (كيلوجرام مسحوق/ساعة)	1300	2040

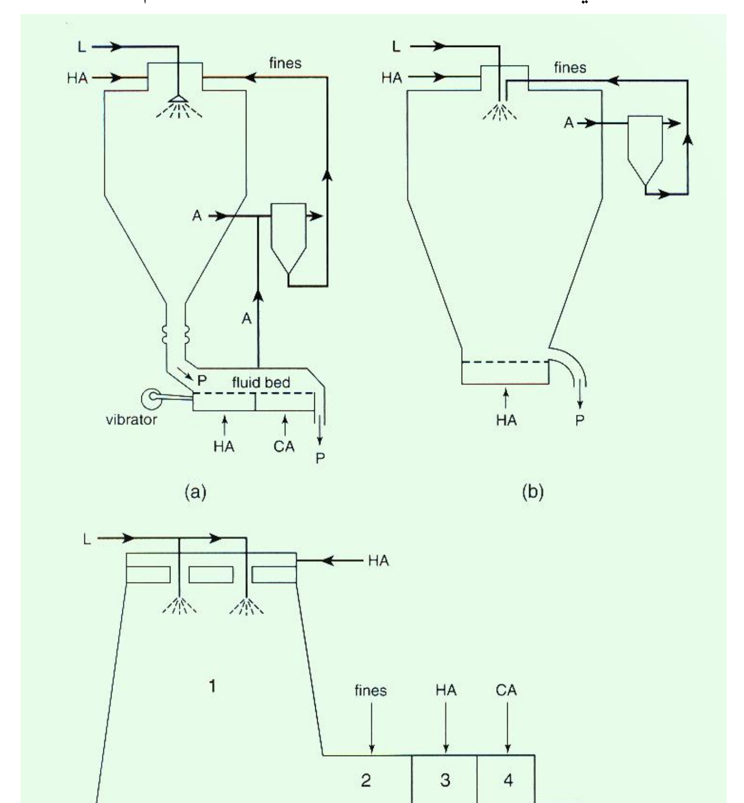
تكون كفاءة نفقة الحرارة أفضل (بحوالي 17%) والسعة أكبر (بحوالي 57%) ، وفي مقابل ذلك النفقة المالية لمجفف الطبقة السائلة ، التجفيف الإضافي يستهلك فقط 5% من الحرارة . نوعية المسحوق (معامل عدم الذوبان) تكون بالتأكيد ليست فقيرة ، ولكن عادة أحسن .

يقدم مجفف الطبقة السائلة منافع إضافية ، مثلاً أنه بسيط للغاية لإضافة قسم تبريد . تستخدم الطبقة أيضاً لأغراض التكتل Agglomerating purpose . الغرض الأساسي للتكتل هو أن المسحوق الناعم يقل انتشاره في الماء البارد (تحت فصل 1.5.4.20) وعلى ذلك ، محاولة إنتاج مسحوق خشن قد نفدت . تلتصق جزيئات المسحوق بشدة مع بعضها في الطبقة السائلة (المائعة) ، ونتيجة لذلك تتكتل الجزيئات إذا كانت لزوجة بطريقة كافية ، أي لها محتوى مائي عالٍ بدرجة كافية عند أطرافها . ومن ثم يسرع التكتل بواسطة نفخ البخار داخل المسحوق (وهذا ما يسمى إعادة البلل ، والذي يستخدم عندما ينتج مسحوق اللبن الفرز) .

يمكن أن تضـبط سـرعة الهواء في الطبقة المائعة بطريقة ما لكي تهرب جزيئات المسـحوق الأصـــغر من الانفصـــال . تغذي الجزيئات الأخيرة حجرة التجفيف ، تدخل إلى الســـائل المراد تذريته ، وتصـــبح متكتلة مع جزيئات في طريقها للجفاف (تســـتخدم خاصـــة لمســـحوق اللبن الكامل) .

يمكن أيضـــاً أن يتأثر التجفيف ذو المرحلتين في حجرة المجفف بالرذاذ المحور ، كما هو موضـح في شـكل 25.10 b . يتم التحقق من الطبقة المائعة في نهاية قاع الحجرة ، وتحتاج إلى عدم الاهتزاز لأن الجزيئات الأصـــغر تطير ناحية منطقة التذرية ، حيث تتكتل مع القطرات التي في طريقها للجفاف . يدور الهواء في الاتجاه الرأسـي ويتم إزالته بالقرب من قمة نهاية الغرفة ، أشـكال عديدة من المجففات تم تطويرها : على سـبيل المثال خليط من الأنواع تم وصـفها في (b) مع ذات طبقة مائعة متصلة بها كما في (a) .

طريقة ثانية للتجفيف ذو المرحلتين يتم عمليها في مجفف أقراص الترشـــيح الموضـــح في شـــكل 25.10 c . المرحلة الأولى هي تجفيف تقليدي بالرذاذ . التذرية عن طريق فتحات ضـــيقة nozzles وتكون تيارات الهواء ورذاذ القطرات متعاكسـة ، تسـقط القطرات الجافة جزئياً على سـير مثقب متحرك ، يزال الهواء المستهلك من خلال طبقة المسحوق المتكونة على السير ، ثم ترسل إلى صانعات الأعاصير Cyclones ، تضاف الدقائق المزالة بواسطة الأخير إلى القسم الثاني من الآلة ، حيث تتكتل مع المسـحوق على سير ، في القسـم الثالث يدفع هواء سـاخن خلال طبقة التجفيف النهائي ، تصـل المادة الجافة إلى القسـم الرابع حيث تبرد . تصـبح جزيئات المسـحوق متكتلة بقوة وتكون كعكة مسامية ، والتي تسقط من السير في كتلة كبيرة تطحن ويتم تعبئة المسحوق الناتج .



شكل 25.10 التجفيف على مرحلتين . رسم تخطيطي عالي البساطة لبعض أشكال مجففات (a) مجفف رش كلاسيكي متصـل بمجفف الطبقة السـائلة (b) طبقة مائعة في قاع نهاية مجفف الرذاذ (c) مجفف فلتر الأقراص . *L* : سـائل ، *A* : هواء ، *AH* : هواء سـاخن ، *CA* : هواء بارد ، *P* : مسـحوق (معلومات إضـافية مفصـلة في النص)

Figure 10.25 Two-stage drying. Highly simplified schemes of some drier configurations. (a) Classical spray drier with fluid bed attached. (b) Fluid bed in the bottom end of a spray drier. (c) Filter mat drier. L= liquid (feed); A = air; HA = hot air; CA = cold air; P = powder. (Further details in text)

قرص الترشـــيح Filter mat تســـمح بإزالة جزء كبير من الماء في المرحلة الثانية ، لأن المســحوق يســتطيع ضــرب الســير عندما يكون مازال لزجاً . الأخير أيضــاً يجعل من هذا المجفف مناسباً للتعامل مع مواد لزجة للغاية ، تصنع بودرة القشدة خاصة في مجففات حصيرة الترشيح .

مراجع مقترحة ***Suggested literature***

جوانب عامة لمحتوى ونشاط الماء ، وتأثيراها على خواص الغذاء وثباته :

P.Walstra, Physical Chemistry of Foods, Dekker, New York, 2003; O.R. Fennema, chapter 2 in O.R Fennena, Ed., Food Chemistry, 3rd ed, Dekker, New york, 1996.

خواص المركز وتجفيف الغذاء :

M. Karel and D.B. Lund, Physical Principles of Food Preservation, 2nd ed, Dekker, New York, 2003 (see especially chapter 9 and chapter 10).

التركيز والتجفيف تم مناقشتها في عدة كتب عن كيمياء وعمليات هندسة الغذاء ، مثل :

D.R. Helldman and D.B. Lund, Eds., Hand book of food Engineering, Dekker, New York, 1992.

جوانب عامة للتجفيف بالرذاذ :

K. Masters, Spray Drying Handbook, 5th ed., Longman, Harlow, 1991.

11 التبريد والتجميد *Cooling and Freezing*

عادة ما يبرد الغذاء أو يجمد لتأخير فساده ، يبرد اللبن الطازج بصورة روتينية إلى حوالي 5 درجات مئوية في مناطق كثيرة من العالم . يمكن أن يمد تخزين منتجات اللبن السائلة بالتبريد لأيام أو أسابيع . يستخدم تبريد اللبن أيضاً لأغراض معينة ، مثل إحداث بلورة للدهن أو تسريع القابلية للتقشيد . يستخدم التجميد عادة لعمل منتج خاص ، مثل الآيس كريم ، وعادة كعملية تركيز ، يستخدم التجميد في بعض الأوقات لتأخير تدهور اللبن الطازج أو منتجات اللبن السائلة .

1.11 التبريد *Cooling*

يحدث تبريد اللبن تغيرات عدة ، الأكثر أهمية منها هي :

1. إبطاء نمو أغلب الكائنات الدقيقة إذا لم تتوقف وكذلك التغيرات التي تحدثها في اللبن بواسطة عمليات أيضها (فصل 4.5) .
2. تتأخر تقريباً جميع التفاعلات الكيميائية والإنزيمية .
3. تسرع الأكسدة الذاتية الحادثة للدهون إما أن تسرع بواسطة الضوء أو أيون النحاس (تحت فصل 2.4.3 بند 9 في القائمة) لانخفاض نشاط إنزيم فوق أكسيد الديسميوتيز The enzyme super oxide dismatase .
4. تحدث تغيرات في الذوبان والأملاح المشاركة . تقل كمية جسيمات فوسفات الكالسيوم (تحت فصل 5.2.2) ويزداد الأس الهيدروجيني (شكل 2.4) .
5. تصل جسيمات الكازين إلى أحجام كبيرة ، وخاصة بيتا-كازين التي تنتشر داخل السائل (شكل 20.3) . يؤدي هذا على زيادة اللزوجة (شكل D 7.4) ويسرع حساسيتها لمهاجمة البلازمين .

6. تفقد كريات الدهن بعض مكوناتها (تحت فصل 2.1.2.3) ويتغير تركيبها ، وتكون هذه التغيرات غير عكسية .
7. يحدث تخثر على البارد لكريات الدهن (تحت فصل 2.4.2.3) مثل تسريع معدل التقشيد .
8. تتبلور الجليسريدات الثلاثية في كريات الدهن جزئياً (تحت فصل 3.1.2.3) .

يحدث كثير مما ذكرنا عن المعاملة بالحرارة في فصل 7 بالتبريد أيضاً ، في الأساس تستخدم نفس المعدات . يكون نقل الحرارة أبطأ لأن اللزوجة العالية للسائل عند درجات حرارة منخفضة تسبب خفضاً لعدد رينولد Reynolds number (انظر الفهرس 11.A) . ويسبب هذا شكلات في قشدة الدهن العالي . يحدث التحام جزئي لكريات الدهن في القشدة السائلة نتيجة لمنحدرات سرعة عالية . ويؤدي هذا إلى زيادة لزوجة القشدة . ونتيجة لذلك ينخفض معامل نقل الحرارة الكلي kn تحت $100 / W.m^{-2}.k^{-1}$ (انظر الفهرس 11.A) . ويكون التحام كريات الدهن غير مرغوب فيه بالنسبة لخواص المنتج . بالإضافة إلى ذلك تصبح مقاومة التدفق خلال قرص الجهاز عالية ، ولذلك نحتاج إلى نوع آخر من المبادل الحراري للقشدة عالية الدهن . يعني هذا أن التبريد يكون مكلفاً نسبياً ، خاصة عندما يستخدم الماء الثلجي أو التجميد بدلاً من الماء عند درجة حرارة 11 مئوية ، لا يسرع الاختلاف الحراري الكبير بين المحلول الملحي والمنتج الناتج عادة كثيراً من معدل نقل الحرارة لأنه يسبب تجميد المنتج في المكان .

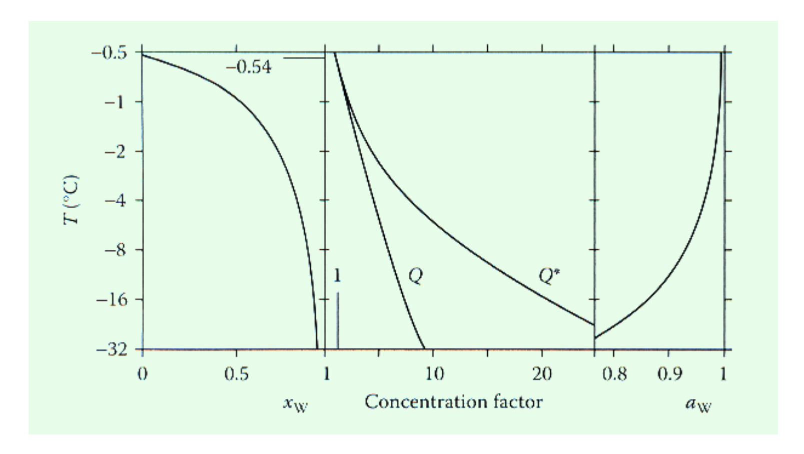
يأخذ تبريد المنتج المعبأ وقتاً أطول ، خاصة إذا استخدمت منتجات لزجة . حيث يستخدم الهواء البارد . ومن المستحسن أن يتم تعبئة المنتج بعد التبريد مباشرة إن أمكن .

2.11 التجميد *Freezing*

عندما يبرد اللبن ، يبدأ في التجمد عند حوالي -0.54 درجة مئوية ، إذا لم يحدث تبريد أقل . اللبن المركز له درجة تجمد منخفضة عندها يتكون الثلج النقي ويصبح اللبن المتبقي مركزاً ، ولذلك تنخفض نقطة التجمد . كلما انخفضت درجة الحرارة ، تزداد نسبة الماء الذي يتجمد

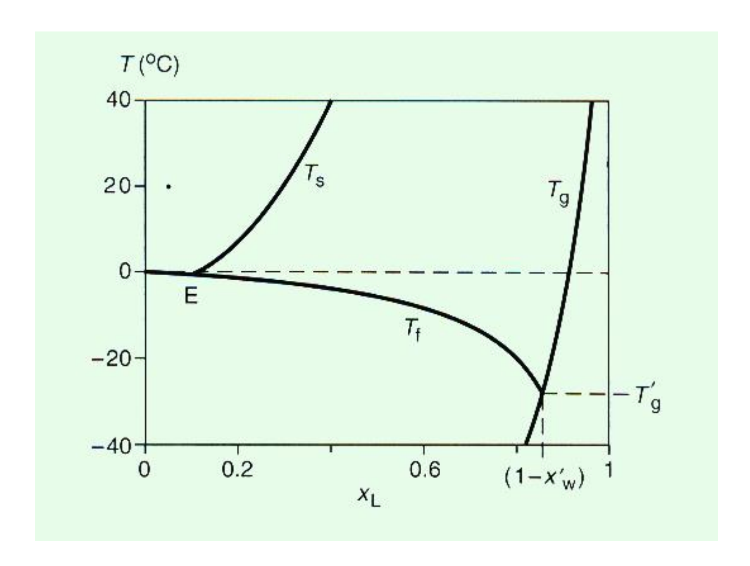
(شكل 1.11) . تستخدم جميع نتائج التركيز التي ذكرت في تحت فصل 3.1.10 . إذا كان هناك حالة تعادل بين الماء والثلج والهواء الرطب ، يكون للنشـــاط المائي دالة على الحرارة وهذا لأن الضــغط البخاري للثلج وبالتالي (a_w) تتناســب مع الحرارة فقط (عند ثبات الضــغط) العلاقة تم توضيحها في شكل 1.11 .

يكون التغير في مكونات الســـائل المتبقي كبيراً . عند – 8 درجة مئوية مثلاً ، Q^* تكون حوالي 13 ، أي ما يعادل حوالي 60% مادة جافة عندما يتم تجميد اللبن الفرز . فيعمل رشيح فائق للسائل المتبقي (عند درجة – 8 مئوية) على أن يكون له أس هيدروجيني عند درجة حرارة الغرفة يســاوي حوالي وحدة واحدة أقل من الترشــيح الفائق للبن الفرز قبل التجميد . القوة الأيونية غالباً ما تكون أعلى بعشــر مرات ، يزداد نشـــاط أيون الكالســـيوم معنوياً ، وكذلك تزداد أيضاً كمية فوسفات الكالسيوم في جسميات الكازين ، بالرغم من انخفاض الأس الهيدروجيني .



شكل 1.11 تجميد اللبن الفرز ، الكسر الحجمي للماء المجمد (X_w) عامل التركيز والنشاط المائي (a_w) كدالة على درجة الحرارة (T) أمثلة تقريبية عند حالة التعادل

Figure 11.1 Freezing of skim milk. Mass fraction of the water frozen (x_w), concentration factor, and water activity (a_w) as a function of temperature (T). Approximate examples at equilibrium



شكل 2.11 رسم تخطيطي للحالة الجزئية لمحاليل اللاكتوز المائية . T هي درجة الحرارة و X_L الكسر الحجمي للاكتوز T_S ذوبانية اللاكتوز (لحالة التعادل بين ألفا وبيتا–لاكتوز) T_F هي درجة حرارة التجمد ، T_g هي درجة حرارة التحول الزجاجي و E تشير إلى نقطة انصهار أدنى (يوتكتي Eutectic point)

Figure 11.2 Partial state diagram of aqueous lactose solutions. T is temperature and x_L is mass fraction of lactose. T_s gives the solubility of lactose (for equilibrium between α-and β-lactose), T_f is freezing temperature, T_g is glass transition temperature, and E denotes the eutectic point

عند تجميد مركز اللبن فإن ، السائل المتبقي يصل إلى الحالة الزجاجية (انظر تحت فصل 4.1.10) وهذا تم توضيحه في الشكل التوضيحي لحالة محاليل اللاكتوز المرسوم في شكل 2.11. عندما يبرد محلول 5% لاكتوز إلى درجة الصفر المئوية ، يتكون الثلج ، ويتركز السائل وتنخفض درجة الحرارة كما هو محدد في منحنى T_f . لاحظ أن قيم X_L الآن تشير إلى محلول اللاكتوز . عند حوالي – 0.75 درجة مئوية و12% لاكتوز ، فإن نقطة الانصهار الأدنى يتم الوصول إليها ، وإذا تم الوصول لنقطة التعادل يبدأ اللاكتوز في التبلور ، ويبدأ نمو نواة وبلورة اللاكتوز (انظر تحت فصل 3.12) ، وعند التبريد السريع تفشل البلورة في التكون . سوف يتم تركيز المجمد طبقاً للمنحنى

T_F ، بالرغم من أن مساره يمكن أن يعتمد قليلاً على معدل التبريد ، سوف تزداد لزوجة السائل بينما لا تكون بلورة اللاكتوز أبداً أقل لزوجة ، وفي النهاية تصل إلى المنحنى T_g . يتغير السائل الآن إلى الحالة الزجاجية ويمنع تكون البلورات ، يكون هذا التحول الزجاجي الخاص عند تركيز تجميد أقصى مميزاً بواسطة درجة حرارة تحول زجاجي خاص T_g' ومحتوى مائي غير متجمد X_w' تكون هذه القيم للاكتوز حوالي – 28 درجة مئوية وتركيز 15% على الترتيب (ملحوظة ، الوصف المعطى في النص التالي هو إلى حد ما مبسط للغاية لأن اللاكتوز قابل للتحول وبلوراته وحيدة التميه Monohydrate) .

عندما يتم تجمد منتج لبن سائل مثل لبن الفرز ، يصبح اللاكتوز مركزاً عند حوالي – 2 درجة مئوية و $Q = 2$ ولكن لا يبدأ بالتبلور حتى تكون قيمة Q على الأقل 3 . عند تجميد سريع ، يمكن الحصول على الحالة الزجاجية . يسود هذا التحول نتيجة لسلوك اللاكتوز .

تم تسجيل قيم T_g' بين – 23 و –28 درجة مئوية ، وتكون القيم المنخفضة محتملة الوجود ، يكون محتوى الماء غير المتجمد X_w' 4% تقريباً . يكون المنتج ثابتاً عندما يحفظ تحت –28 درجة مئوية ، بالرغم من أن بعض الأكسدة الذاتية للدهون ما تزال تحدث . فوق T_g' تزداد معدلات الانتشار بصورة كبيرة ، ويتبلور اللاكتوز ببطء . يمكن أن تحدث تغيرات أخرى ، تكون هذه الظواهر هامة خاصة في الآيس كريم .

عندما لا يتبلور اللاكتوز ، فإنه يعمل كمانع للتجمد ، لأن النشاط المائي المتعادل يتحدد بواسطة درجة الحرارة فقط . سوف يتجمد قليل من الماء وبالتالي تكون المواد الأخرى وخاصة الأملاح أقل تركيزاً ، وعلى ذلك فالقوة الأيونية ونشاط الكالسيوم تزداد زيادة بسيطة، عندما لا يتبلور اللاكتوز ويذوب اللبن المجمد ، فإنه يشاهد عادة تجمع جسيمات الكازين ، نتيجة لإزالة الملح وترسيب فوسفات الكالسيوم في الجسيمات . التقليب عند درجة حرارة منخفضة (أي 5 درجات مئوية) يمكنه منع جسميات الكازين من التجمع ولكن اللبن المجمد الذي حفظ لمدة طويلة

عند درجة – 18 مئوية يظهر تجمعاً غير عكســـي عندما يذوب . ولذلك فإن منع تبلور اللاكتوز بواسطة التجمد سريع ، يمنع التجمع .

إن تجميد وذوبان اللبن الكامل وخاصة القشدة ، عادة ما يسبب التحاماً جزئياً لكريات الدهن ، لأن بلورات الثلج النامية تضغط الكريات مع بعضها ، ويمكن منع ذلك بواسطة تجنيس سابق وتجميد سريع .

يتم في التطبيق العملي ، انجاز التجميد السريع في مبادل حراري ذو سطح خشن ، يسيل الســائل خلال أنبوب مبردة من الخارج تبريداً شـديداً ، مكونة ثلجاً عند الســطح الداخلي . يزال الثلج في الحال بواسطة مقلب دوار يكون مزوداً بسكاكين كاشطة للسطح . وفي هذه الطريقة ينتج مخلوط من لبن مركز وبلورات ثلج . ويمكن بإزالة البلورات أن نحصــل على اللبن المركز ، تكون هذه العملية من المركز المجمد أكثر تكلفة ومحدودة الاستعمال من إزالة الماء بالتبخير . وعادة ما تستخدم لتركيز سائل يحتوي على مركبات نكهة ، لأن هذه يمكن أن تفقد أثناء التركيز بالتبخير .

مراجع مقترحة *Suggested Literaure*

مرجع حديث عن تجميد المنتجات اللبنية :

H.D. Goff and M.E. Sahagian, chapter 8, page 299, in L.E. Jeremiah, Ed., freezing Effects on Food Quality, Dekker, New York, 1996.

جوانب أساسية (انظر خاصة فصل ستة عشر) :

P. Walstra, Physical chemistry of Foods, Dekker, New York, 2003.

12 عمليات الفصل بالأغشية *Membrane Processes*

تستخدم عمليات الفصل بالأغشية لفصل السائل إلى سائلين مختلفي المكونات ، يمكن أن يكون الغرض الأساسي إزالة مادة مثل الماء ، والتي تعادل تركيز اللبن أو الشرش ... الخ ، تزال مكونات أخرى مثل الأملاح والبكتيريا مثلاً ، غرض ثاني هو تراكم مركبات مثل البروتين . يستخدم الفصل الغشائي بشكل متزايد في عمليات صناعة الألبان وخاصة في الشرش، ولقد حل محل عمليات الفصل الأقدم ، وله الفضل في ظهور منتجات محسنة أو جديدة . انظر تحت فصل 1.1.10 لجوانب التركيز العامة .

1.12 جوانب عامة *General Aspects*

عند تطبيق عمليات الفصل بالغشاء ، يحصر السائل في جهاز بواسطة غشاء شبه منفذ ، يمكن أن تمر بعض من مركبات السائل من الغشاء ، وبعضها لا يستطيع ، وهذا تم توضيحه في شكل 1.12 لعمليات الترشيح خلال الأغشية ، يسمى السائل الذي يعبر الغشاء الراشح Permeate ، والسائل المحصور هو المحتجز (المركز) Retentate . يعتمد الفصل المنجز للمكونات أولياً على التركيب Structure ومكونات الغشاء Composition .

في حالة الترشيح الغشائي Membrane filtration ، تكون القوة الدافعة للفصل هي فرق الضغط الهيدروستاتيكي عبر الغشاء ، يسمى هذا الضغط عبر الغشاء Transmembrane pressure يتحقق هذا بواسطة مضخة ضغط في خط التغذية feed line وصمام خانق throttle valve في خط المركز المحتجز في عملية الترشيح عبر الغشاء (الديلزة Dialysis) ، القوة الدافعة هي فرق التركيز ، في الديلزة الكهربية تكون هي الفرق في الجهد الكهربي .

1.1.12 أنواع العمليات *Types of Processes*

يمكن التعرف علي عمليات الترشيح الغشائي المختلفة ، وتشمل هذه الآتي ، (انظر أيضاً شكل 2.12) .

الترشيح الدقيق Microfiltration (MF) ، وهو وسطي بين الترشيح العادي والترشيح الفائق Ultra-filtration . الغشاء له ثقوب واسعة نوعاً ما ، أي أكبر من 0.2 ميكرومتر ، ويكون فرق الضغط المستخدم صغيراً ، تستخدم الطريقة مثلاً لإزالة جزيئات صغيرة وكائنات دقيقة من ماء ملح الجبن أو الماء الضائع Waste water ، وهي ملائمة أيضاً لإزالة البكتيريا من اللبن الفرز (تحت فصل 3.1.16) . تكون كمية المحتجز (المركز) الناتجة صغيرة ، بالإضافة على ذلك ويمكنها أن تستخدم في تقييس محتوى الدهن في اللبن .

يفصل الترشيح الفائق (UF) بجدارة الجزيئات الكبيرة macromolecules (مثل البروتينات الذائبة) من المحلول . بالإضافة إلى ذلك ، أي جزيئات موجودة مثل جسيمات الكازين وكريات الدهن والخلايا الجسمية Somatic cells أو البكتيريا يمكن أيضاً حجزها . تتراوح قطر الثقوب في الغشاء من 3 إلى 300 نانومتر . تطبيق شائع لهذا النوع من الترشيح هو تراكم البروتين Accumulate protein ، عادة ما تستخدم العملية للشرش ، وكذلك للبن الفرز . وتستطيع أن تسبب تغيرات محسوسة في مكونات المنتجات اللبنية . يمكن أن يركز لبن الجبن إلى حد ما لدرجة تقترب من خثارة اللبن Curd . يمكن أن ينفح المحتجز ليعطي مباشرة خثارة اللبن ، ويمكن أن يستخدم في تقييس محتوى البروتين في اللبن إما بإضافة راشح الترشيح الفائق UF permeate أو محتجز الترشيح الفائق للبن الفرز . الترشيح الفائق عملية فريدة ، حيث أن فلترة الهلام Gel filtration يمكن أن تمدنا بنتائج مماثلة ولكن يصعب تطبيقها على المستوى الصناعي ، بينما الديلزة Dialysis هي طريقة نموذجية .

يستخدم الترشيح النانو Nanofiltration (NF) ، أساساً لإزالة الملح جزئياً من الشرش أو راشح الترشيح الفائق ، تحدث العملية أيضاً تركيزات كبيرة تركيزات كبيرة للشرش (إزالة الماء) ، NF هو بديل للديلزة الكهربية . تكون أغشية الترشيح النانو مشابهة للمستخدمة في الإسموزية العكسية Reverse osmosis وليس لها ثقوب ، إلا أن الضغوط المستخدمة تكون أكثر انخفاضاً مما هو موجود في الإسموزية العكسية RO .

تستخدم الإسموزية العكسية لإزالة الماء . يكون أساس الفصل مؤسساً على ذوبانية الماء، والذوبانية الشحيحة للمكونات الأخرى في الغشاء ، تسبب العملية فرقاً كبيراً في الضغط الإسموزي بين الراشح والمحتجز ، يحتاج هذا إلى ضغوط عالية عبر الغشاء .

يمكن أن تكون الإسموزية العكسية بديلاً لعملية التبخير ، ولكنها تستهلك طاقة أقل (جدول 2.10) استخدمت العملية في البداية على الشرش . وعيوبها هي عدم قدرة السائل على التركيز العالي كما هو الحال في التبخير حيث يكون الراشح بأي طريقة ماءً نقياً .

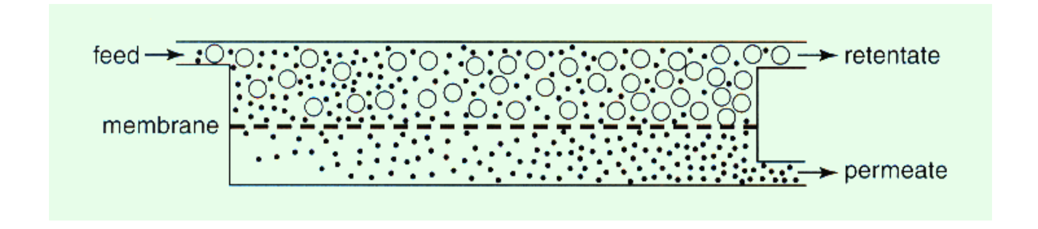
تهدف الديلزة الكهربية Electrodialysis (ED) ، إلى إزالة الأيونات ، بفرض التحضير لمنتج غذائي أو كخطوة لتصنيع مركز بروتيني نقي ، وذلك بمرور اللبن أو الشرش فوق أعمدة مبادل من مواد صمغية مناسبة بقصد حجز الأيونات .

2.1.12 الفاعلية *Efficiency*

تحدد كفاءة عمليات الغشاء بواسطة (1) انتقائيته أو اختياريه Its selectivity والتي تكون إلى حد ما ، حجز المكونات المختلفة مركزه بينما المركبات الأخرى تمر خلال الغشاء . (2) تدفق الراشح The permeate flux ، معبراً عنه بالكيلوجرام راشح لكل متر مربع من سطح الغشاء لكل وحدة وقت .

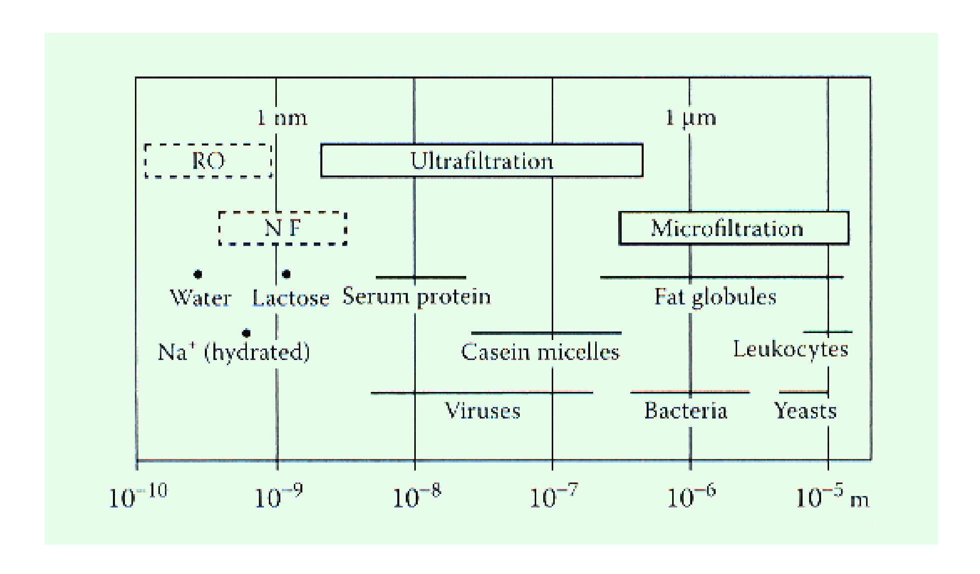
الانعكاس Reflection : عملية فصل المكونات باستخدام الغشاء لا تكون أبداً كاملة . ويحسب الانعكاس R^* لمذاب X كالآتي :

$$R^* = \frac{a_w - (a_x / C^*)}{q_w} = 1 - \frac{q_x}{q_w C^*} \quad (12.1)$$



شكل 1.12 شكل تخطيطي مبسط جداً للترشيح الغشائي ، الضغط الهيدروستاتيكي عند الجانب المحتجز يكون أعلى من الضغط عند جانب الراشح للغشاء

Figure 12.1 Highly simplified scheme of membrane filtration. The hydrostatic pressure at the retentate side is higher than that at the permeate side of the membrane



شكل 2.12 أحجام الجزيئات التقريبية للفصل التي يمكن أن يستخدم فيها الترشيح الغشائي ، أساسياً الإسموزية العكسية (RO) وترشيح النانو (NF) لا يتم الفصل فيها على أساس حجم الجزيء ، حجم بعض الجزيئات في اللبن تم تسجيلها

Figure 12.2 Approximate particle sizes for which separation by means of membrane filtration can be applied. Fundamentally, reverse osmosis (RO) and nanofiltration (NF) do not separate on a particle-size basis. The size of some molecules and particles in milk is also indicated

هنا q_w (كيلوجرام . متر^2 . ثانية$^{-1}$) هو تدفق المذيب (أي الماء) خلال الغشـــاء ، و q_x هي للمذاب X . تركيز X عند ضـــغط جانب الغشـــاء هو C^* معبراً عنه بالكيلوجرام مذاب لكل كيلوجرام ماء ، تركيز الماء C_w^* عند ذلك يساوي واحد .

مثالياً $R^* = 1$ لأنواع تحتجز مثل البروتينات و $R^* = 0$ لأنواع أخرى (مثل جزيئات صـــغيرة) في الحقيقة ، أغلب الأنواع لها قيم R^* بين 0 و 1 . العوامل المحددة لقيمة R^* سـوف تناقش منفصـلة لـــUF و Ro . المتغير الأساسي هو تركيب أو محتوى الغشاء . الاختيارية تحدد بواسطة قيم R^* للمكونات المختلفة للسائل المغذي .

المحتجز (المركز) Retention في التطبيق . نهتم بـاحتجـاز المـذاب ويقـدر بواســـطـة المعادلة :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \qquad (12.2)$$

حيث C_p و C_f تشيران إلى التركيز في الراشح والسائل المغذي على التوالي بالجرام.متر$^{-3}$. في بداية العملية عندما يكون عامل التركيز Q يساوي واحد فإن $R = R^*$ ولكن عندما تزداد قيمة Q تتغير مكونات الراشـــح C_p وعلى ذلك فإن $R.R^*$ تعطي نســبة التدفق عند لحظة واحدة ، ويمكن أن تظل ثابتة أثناء العملية . تشير R إلى العملية كلها ، وسوف تتغير مع الوقت ، ويمكن أن تحسب من قيم R^* المعروفة بواسطة تكامل فوق وقت العملية .

إعادة الترشيح ***Diafiltration***

إذا كان الغرض من الفصل بالغشاء هو تراكم مكون مثل البروتين فإن المحتجز Retenate ســوف يحتوي دائماً على نســبة معتبرة من النوع الذي يســتطيع أن ينفذ من الغشـــاء وهو عادة الجزيئات الأصـغر . يجب أن يكون المحتجز سـائلاً ، وعلى ذلك سـوف يحتوي على كمية جوهرية من الماء . وكتقريب أولي سوف يكون تركيز الجزيئات الصغيرة بالنسبة للماء (C^*) نفس التركيز في السائل الأساسي . ولكي نحصل على مركز أنقى ، يخفف المحتجز بالماء ويركز ثانية . وهذا يسـمى

إعادة الترشيح Diafiltration . عندما يستخدم إعادة الترشيح ، فإن المحتجز الذي نحصل عليه يتغير بقوة أكبر مع الوقت عن الحالة التي نوقشت من قبل .

تدفق الراشح *Permeate Flux*

سوف يعتمد التدفق في البداية في أبسط الحالات على نوع الغشاء ، ويكون متناسباً مع الضغط عبر الغشاء ويتناسب عكسياً مع سمك الغشاء . ومع ذلك يكون السائل في التجارب السابقة على الترشيح الفائق تحت ضغط في الوعاء المقفل ، الذي يتكون جزء منه من غشاء شبه منفذ ، يكون التدفق صغيراً جداً ، أي أن التدفق يقل إلى حوالي صفر . والسبب في ذلك سوف يقدم عند التعليق على شكل 3.12 . بالقرب من الغشاء ، يتكون انحدار تركيز قوي للمكون المحتجز ، عادة ما يكون أكثر قوة من الموضح في الشكل . وهذا في حد ذاته سوف يقلل من التدفق لأن تركيز الماء المحلي يقل واللزوجة تزداد . ولكن هناك نتيجة أخرى هي أن ذوبانية مكون المحتجز يتم تجاوزها مؤدية إلى ترسيب طبقة هلام على الغشاء ، ويقلل هذا كثيراً من التدفق وكلما أصبحت الطبقة أسمك قل التدفق أكثر .

وحل هذه المشكلة هو ترشيح التدفق المتقاطع Cross-flow filtration والذي يستخدم في جميع عمليات الترشيح الغشائي الصناعية ، المرسومة في شكل 3.12 . يضخ السائل بسرعة عالية على طول الغشاء منتجاً تدفقاً توربينياً وهذا يقلل كثيراً من احتمالية تكون منحدر تركيزي ، ماعدا في طبقة حدود الصفيحة الدقيقة ، وعلى ذلك يبقى المنحدر صغيراً نسبياً . وحيث أنه يمكن أن تتكون طبقة الهلام فقط بعد تكون تركيز مرتفع ، ويحدث ذلك عندما يكون الغشاء مسطحاً وأملساً عند جانب المحتجز ، وإلا سوف تتكون طبقة الهلام في شقوق وأسنان في الغشاء (ملاحظة ، تكوين منحدر تركيز وطبقة هلام تسمى عامة "استقطاب تركيزي Concentration Polarization" . (يحدث الاستقطاب عند سطح الاكترود- أيضاً) . تؤثر عوامل أخرى على التدفق سوف تناقش عند مناقشة الترشح الفائق UF والإسموزية العكسية .

3.1.12 عمليات تقنية ***Technical Operation***

تم رسم نظام تدفق متقاطع بسيط في شكل 4.12 A ويستخدم فقط إذا كانت درجة التركيز صغيرة . أما عند تركيز متزايد ، تزداد الزوجة المحتجز تزداد بصورة واضحة ، وعلى ذلك يفقد جزء كبير من الضغط عبر الغشاء نتيجة للاحتكاك في السائل ، ويعني هذا انخفاض التدفق الكلي .

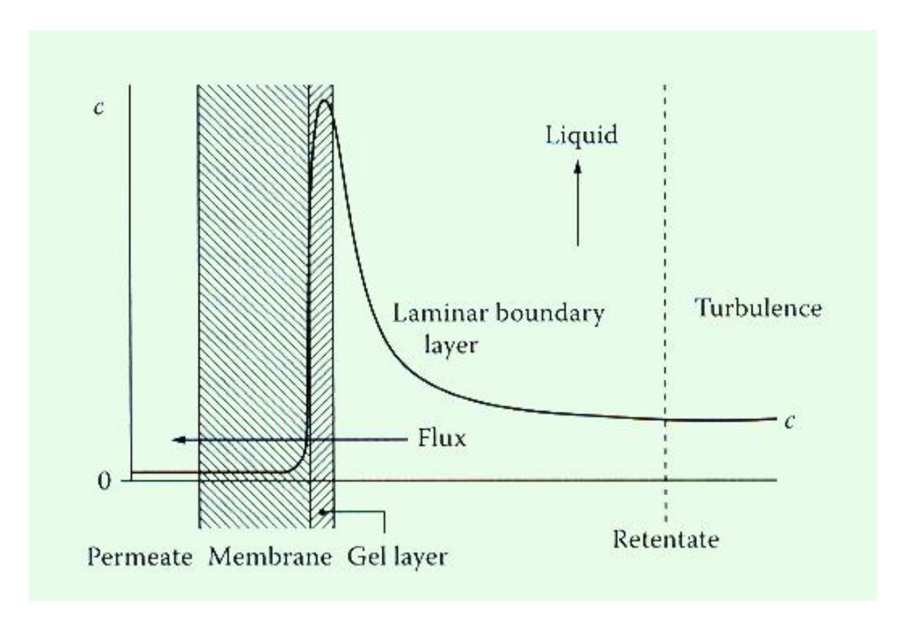
وبناء على ذلك ، يستعمل دوران مراحل متعددة عادة . حيث تقسم العملية إلى مراحل شكل 4.12 B يقلل من فقد الضغط عبر الغشاء ، بالإضافة إلى ذلك ، تم تصميم الشكل ليحافظ على الضغط ثابتاً خلال كل مرحلة .

وبرغم ذلك ، تزداد لزوجة المحتجز أثناء التركيز ، وهذا يكون العامل المحدد للتدفق وهو تكون طبقة الهلام . وعلى ذلك تكون درجات الحرارة العالية ملائمة . احتياط آخر للمحافظة على لزوجة منخفضة هو فرز اللبن قبل الترشيح بالأغشية ، وإذا احتاج الأمر يمكن إضافة القشدة عالية الدهن بعد التركيز .

يمكن أن نلاحظ أن الكائنات الدقيقة يمكن أن تنمو في جميع السوائل اللبنية المعرضة إلى أو الناتجة من عمليات الترشيح الغشائي . تتراكم الكائنات الحية في المحتجز . وهذا يقتضي أن العملية لا تستطيع الاستمرار لفترة طويلة إلا إذا تم المحافظة على درجة الحرارة منخفضة أو مرتفعة إلى حد ما .

الأغشية *Membranes*

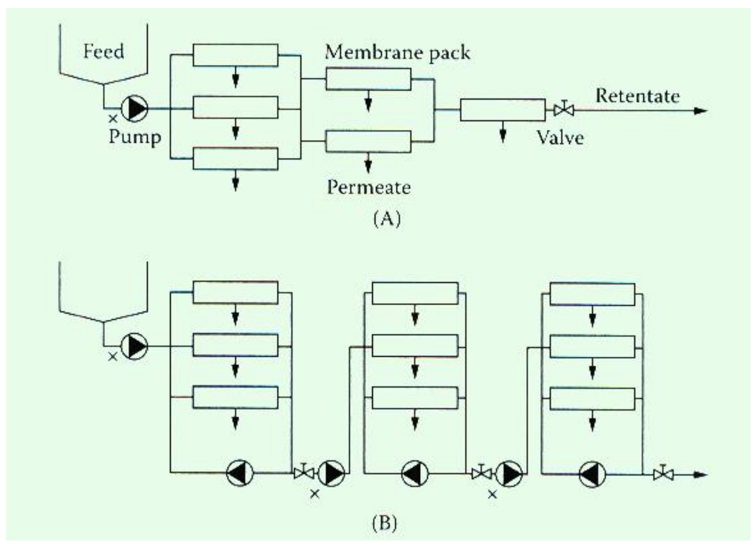
تصنع أغلب الأغشية من بوليمرات ، تصنع أغشية الترشيح الفائق عادة من عديد الأميد Polyamide أو سلفون عديد الاثير Polyether-sulfone . المادة الأولى بمكونات مختلفة تستخدم لأغشية الترشيح النانو NF والإسموزية العكسية *RO* . هذا الغشاء يجب أن يكون رقيقاً وهشاً ، وبالتالي مثبتاً في طبقة دعامية مثقبة أكثر سماكة . الأغشية المستخدمة تتحمل درجة الحرارة العالية . درجة حرارة العملية 55 درجة مئوية ، تم استخدامها والتي تعني



شكل 3.12 منحدر التركيز وطبقة الهلام على غشاء يتم عبره تدفق سائل مركز الرسم التخطيطي C = تركيز المذاب ، عادة طبقة رقيقة لغشاء على جانب المحتجز تكون مؤثرة كفلتر ، متوسط تدفق سائل عبر الغشاء تكون مثلاً 10^6 مرات معدل التدفق عبر الغشاء (تدفق الراشح)

Figure 12.3 Concentration gradient and gel layer on a membrane along which the concentrating liquid flows. Schematic. c = concentration of a solute. Usually only a thin layer of the membrane on the retentate side is effective as a filter. The average liquid flow rate along the membrane is, for example, 10^6 times the flow rate across the membrane (the permeate flux)

الأغشـية الخزفية Ceramic membranes ، لا يمكن صـناعتها بثقوب صـغيرة متسـاوية القطر وتسـتخدم فقط للترشـيح الدقيق ، وهي قوية وتتحمل درجة الحرارة العالية وأدوات التنظيف القوية . يمكن أن تتغير تراكيب مدعمة للأغشية وشكل فراغ المحتجز بشكل واسع . تستخدم الآن ثلاثة أنواع رئيسـية ، بعض الخواص تم توضـيحها في جدول 1.12 . تسـتخدم صـفائح بأغشـية مسـطحة ولكن اسـتبدلت الآن بواسـطة أغشـية ملفوفة حلزونياً . تسـتخدم أنظمة أنبوبية الآن للأغشية الخزفية .



شكل 4.12 ترتيبات الترشيح الغشائي . تخطيطي (A) تدفق بسيط ، (B) تدفق على عدة مراحل مع إعادة التدوير ، المضخات مرقمة بالحرف X يمكن أن تقاوم ضغط عكسي معتبر ، المضخات الأخرى تكون للجريان

Figure 12.4 Arrangements for membrane filtration. schematic. (A) Simple flow. (B) Flow in several stages with recirculation. Pumps marked with × can resist considerable back pressure; the other pumps are for circulation

(1) لزوجة سائل منخفضة ، وبالتالي تدفق راشح عالي (2) لا يوجد نمو بكتيري فعلي (3) دنترة البروتين قليلة جداً أو تغيرات كيميائية أخرى . تكون الأغشية أيضاً مقاومة للتنظيف بالأحماض والقلويات (فصل 2.14) .

2.12 الترشيح الفائق *Ultra Filtration*

1.2.12 مكونات المحتجز *Composition of the Retertate*

غشاء الترشيح الفائق هو فلتر بثقوب ضيقة للغاية (انظر شكل 2.12) ومن خلاله يمكن أن تمر أغلب الجزيئات والأيونات ، بينما تحتجز الجزيئات الكبيرة ، وتحتجز الجزيئات في الأساس ، النشاط المائي ، القوة الأيونية ، والأس الهيدروجيني تكون متساوية على جانبي

جدول 1.12 أنواع مختلفة من وحدات الترشيح

Table 12.1 Various Types of Filtration Units: Characteristics

وحدات الترشيح	الخواص
غشاء مسطح (على صفائح مدعمة) *Flat membrane* (on supporting plate)	حجم صغير نسبياً لكل متر مربع من الغشاء Relatively small volume per square meter of membrane فقد كبير للضغط نتيجة لمقاومة التدفق Great pressure loss due to flow resistance يمكن بصعوبة معاينته وفحصه بدون فكه Can hardly be inspected without dismantling استبدال الغشاء يؤدي بسهولة إلى ارتشاحه Dismantling (e.g., to replace a membrane) easily causes leaky membranes
غشاء مشطح ملفوف حلزونياً *Spiral-wound flat membrane* (pile of membranes alternated with flwexible supports wound around a tube)	حجم صغير نسبياً لكل متر مربع من الغشاء Relatively small volume per square meter of membrane مقاومة التدفق صغيرة Low flow resistance من الصعب الكشف عليه وفحصه Hard to inspect الارتشاح يحتاج استبدال الخرطوشة Leakage requires replacing a complete cartridge
غشاء أنبوبي *Tubular membrane* (in hollow supporting tubes)	حجم كبير لكل متر مربع من الغشاء Large volume per square meter of membrane مقاومة التدفق منخفضة Low flow resistance يمكن بسهولة تنظيفه والكشف عليه وتغييره Can easily be cleaned, inspected, and replaced ملائم للأغشية الخزفية Suited for ceramic membranes

الغشاء . في المحتجز يتراكم البروتين وتبقى خواصه ثابتة شاملة الشكل . تتغير النسبة بين البروتين والسكر في المحتجز بصورة ملحوظة . وبالتالي يكون لمحتجز اللبن الفرز مكونات

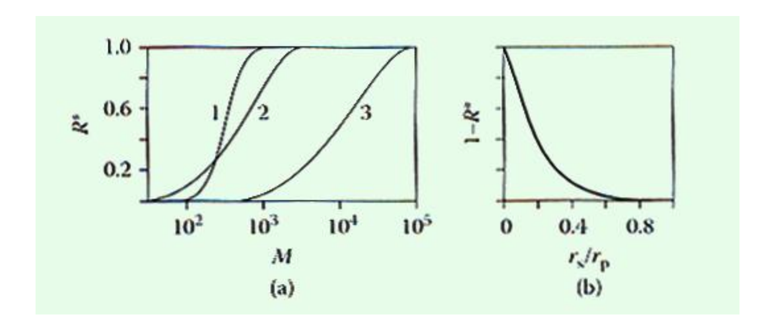
تختلف كلياً عن محتجز اللبن الفرز المبخر ، ونتيجة لذلك له خصائص مختلفة : حيث تبدو تفاعلات ميللارد ضعيفة أثناء التسخين ، وتكون أكثر ثباتاً للحرارة عند محتوى بروتيني مماثل وله لزوجة أعلى عند محتوى مادة صلبة مماثل (شكل B 7.4) ملاحظة اختلافات مماثلة للشرش .

لا يكون الفصل أثناء الترشيح الفائق تاماً . الانعكاس R^* (انظر المعادلة 1.12) تكون دالة على حجم الجزيء ، وتعتمد هذه الدالة على نوع الغشاء المستخدم (انظر شكل 5.12 a) . R^* تتغير تدريجياً مع الكتلة المولارية ، جزئياً بسبب انتشار في عرض الثقب في الغشاء . وتشرح الاختلافات في الانتشار الاختلافات في انحدار المنحنيات . حتى بالنسبة لعرض الثقب المتماثل . إلا أن R^* سوف تتغير تدريجياً مع الكتلة المولارية (انظر منحنى 1) . وهذا لأن الثقوب في الغشاء تحدث تأثير غربال ميكانيكي على حركة الجزيئات حتى الصغيرة منها . كلما قرب حجم الجزيء من عرض الثقب في الغشاء ، تكون المقاومة أكبر . وهذا تم توضيحه في شكل 5.12 b إذ سببت الثقوب نفس المقاومة للمادة المذابة كما في جزيئات الماء ، فإن $R^*=0$.

لا تعتمد R^* فقط على نوع الغشاء ، ولكن أيضاً على الجزيئات الصغيرة والتي تزداد أيضاً إلى حد ما مع الضغط عبر الغشاء ΔP (انظر معادلة 5.12) ، يكون الضغط عامة بين 0.1 و0.5 MPa . وعادة R^* تعتمد على وجود وسماكة الطبقة الهلامية . تعقيد آخر هو أن أنشطة في المحلول بجانب التركيزات تكون متغيرات لها صلة بالموضوع في معادلة 1.12 . يمكن أن يكون عند تركيزات عالية الاختلاف معتبراً جزئياً لأن جزء من الماء لا يكون متوفراً كمذيب .

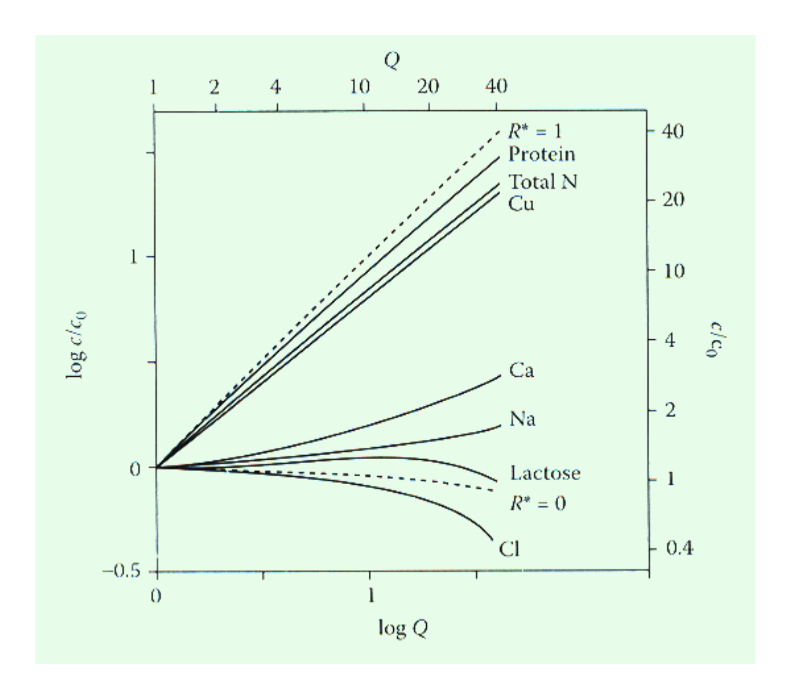
في الترشيح الفائق للبن الفرز والشرش . لا تحتجز بالكامل بروتينات منخفضة الكتلة المولارية أو ببتيدات $(R^*<1)$. عادة تختلف R^* للاكتوز من 0.02 إلى 0.15 وللسترات من

0.01 إلى 0.10 . تكون الأنيونات في مصل اللبن في المتوسط أكبر من الكاتيونات . الفرق الناتج في التدفق يجب أن يتم معادلته بواسطة تدفق لأيونات الهيدروكسيل ، والتي تسبب أساً هيدروجينياً للراشح قدره 0.04 إلى 0.10 أعلى من الأس الهيدروجيني للسائل الأصلي . يوضح شكل 6.12 بعضاً من الجوانب المذكورة . تم رسم منحنيات محسوبة لـ $R^* = 0$. لا يكون المنحنى لـ $R^* =$ صفر أفقياً . وذلك بسبب النسبة الثابتة المساوية للمذاب إلى الماء (C^* كما عُرفت في معادلة 1.12) على جانبي الغشاء . تركيز المادة المذابة في الحجم الكلي (C في شكل 6.12) يقل أثناء التركيز ، وكذلك يقل المحتوى المائي للمحتجز (وبحساب المنحنى لـــ $R^* =$ صــفر ، لا يكون الماء متاحاً كمذيب ولا يؤخذ في الاعتبار) .



شـكل 5.12 اعتماد الانعكاس R^* لأغشـية الترشـيح الفائق على الحجم الجزيئي (a) أمثلة تقريبية للاعتماد على الكتلة المولارية للمادة المذابة لثلاثة أغشـية في الغشـاء 1 الثقوب يكون لها قطر متسـاوي (b) سـرعة المرور النسبية $(R^* - 1)$ لدائرة نصف قطرها rs خلال ثقب أسطواني قطره rp كدالة لنسبتيهما . نتائج تقريبية

Figure 12.5 Dependence of the reflection R^* of ultrafiltration membranes on molecule or farticle size. (a) Approximate examples of the dependence on molar mass of the solute for three membranes; in membrane 1 the pores have equal diameter. (b) The relative passage velocity $(1 - R^*)$ of a sphere of radius r_s through a cylindrical pore of radius r_p, as a function of their ration; approximate calculated result



شكل 6.12 نسبة التركيز (C معبراً عنها بالمتر^3 للمحتجز) لبعض المكونات في محتجز فائق الترشيح لشرش حلو تركيزها الأصلي (Co) كدالة على عامل التركيز Q (= الحجم الأصلي/حجم المحتجز) أمثلة تقريبية

Figure 12.6 The ratio of the concentration (c, expressed per m^3 of retentate) of some components in the relentate of ultrafiltered sweet whey to their original concentration (c_0) as a function of the concentration factor Q (= original volume/retentate volume). Approximate examples. (Mostly adapted from J. Hiddink, R. de Boer, and D.J. Romijn, *Neth. Milk Dairy J.*, 32, 80, 1978)

يوضح شكل 6.12 أنه ليس هناك انعكاس كلي للبروتين ، الانعكاس الكلي لـ N مازال أصغر لأنه يحتوي على نيتروجين غير بروتيني (NPN) له R^* تقارب الصفر (يكون NPN حوالي 25% من النيتروجين في الشرش !) . ومن الواضح أن أي مكون ينتمي بشدة للبروتين مثل النحاس ، فإنه يستبقى في المحتجز ، إلى حد ما يكون ذلك صحيحاً بالنسبة لمضادات البروتين سالب الشحنة . في هذه الحالة الكاتيونات ، يوضح الشكل أيضاً أن أيونات الكالسيوم توجد في تركيز

أعلى نسبياً لمضادات في الطبقة المزدوجة المنتشرة من أيونات الصوديوم والتي تكون على الخط مع النظرية . تكون جميع التغيرات الضرورية للأيونات المشاركة خاصة أيونات الكلور Cl^- أكثر إزالة مع الراشح ، مؤدية إلى R^* < صفر . لأنه يكون لها تركيز منخفض في الطبقة المزدوجة الناتجة حول جزيئات البروتين .

إلى هذا الحد قد ناقشنا الانعكاس . وكما ذكر في العلاقة مع المعادلة 2.12 الاحتجاز هو المتغير ذو أهمية عملية ، ويتغير تدريجياً عندما يزداد عامل التركيز Q . يتم توضيح التغير في الاحتجاز بالتغيرات في مكونات المحتجز الناتج أثناء الترشيح الفائق للشرش ، كما هو موضح في جدول 2.12 . يوضح واحد من الأعمدة في الجدول تأثير إعادة الترشيح Diafiltration ويلاحظ أن ذلك يسرع محتوى بروتين المادة الجافة في المحتجز . بالإضافة على ذلك يمكن أن تنجز "تنقية" Purification المحتجز قبل الإسموزية العكسية RO يتبعها بلورة للاكتوز وإزالة البلورات ، وبواسطة الترشيح النانو NF للمحتجز لكي تزيل جزءاً من الأملاح (انظر فصل 4.12) .

2.2.12 تدفق الراشح *Permeate Flux*

حجم التدفق (متر.ثانية$^{-1}$) هو الكمية q من السائل التي مرت من الغشاء لكل وحدة وقت ومساحة سطح . بتطبيق معادلة دارسي Darcy equation على الغشاء يعطي :

$$q = \left[\frac{B}{h}\right]\frac{\Delta P}{\eta} \qquad (12.3)$$

حيث B هي معامل النفاذية للغشاء ، h هي السمك الفعلي للغشاء ، $P\Delta$ هي الضغط عبر الغشاء ، و η هي لزوجة الراشح السائل .

جدول 2.12 مكونات المادة الجافة للمحتجز الناتج بواسطة الترشيح الفائق للشرش

Table 12.2 Composition of the Dry Matter of Retentate Obtained

Q	1	5	10	20	35	35[a]	20
Dry matter (%) المادة الجافة	6.6	10	14	20	25	22	17
الأس الهيدروجيني أثناء الترشيح الفائق pH during ultrafiltration	-	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	3.2
بروتين/المادة الجافة (%) Protein/dry matter (%)	12	34	45	58	70	82	59
لاكتوز/المادة الجافة (%) Lactose/dry matter (%)	74	51	39	27	17	7	27
الرماد/المادة الجافة (%) Ash/dry matter (%)	8	6	5	4	3.5	2.5	2.7
السترات/المادة الجافة (%) Citrate/dry matter (%)	2.5	1.8	1.7	1.6	1.4		
Fat/dry matter (%) الدهون/المادة الجافة	1	2	3	4	5	6	4

ملاحظة ، أمثلة تقريبية ، Q = عامل التركيز = عامل نقص الحجم .

a متبوعاً بإعادة الترشيح أي أن الماء يضاف لزيادة الحجم بعامل 3 والمخلوط يعاد ترشيحه .

Note: Approximate examples; Q = concentration factor = volume reduction factor.

a. Followed by diafiltration, i.e., water is added to increase the volume by a factor of 3, and the mixture is ultrafiltered again.

تكون B متناسـبة مع مربع عرض الثقب وجزء السـطح المشـغول بالثقوب . وعلى ذلك تزداد q عندما يتسـع عرض الثقب ، ولكن ذلك على حسـاب نفاذية الغشـاء . لا يكون التدفق متناسباً بالضبط مع ΔP ، لأن عند ضغوط مرتفعة تقل B نتيجة لانضغاط الغشاء . عادة (B/h) تكون قيمتها 10^{-12} متر ، والتي تقتضـي أن تدفق الماء خلال غشـاء ترشـيح فائق يقدر بـــ 400 كيلوجرام متر$^{-2}$ ساعة$^{-1}$ عند $\Delta P = 100 \, kPa$ (1 بار) .

يكون التدفق الذي تم انجازه أثناء الترشـيح الفائق للشــرش أو اللبن الفرز أقل بعدة مرات من التدفق الناتج أثناء الترشيح الفائق للماء . الأسباب المحتملة هي :

1. تكون لزوجة السائل الراشح أعلى من لزوجة الماء ، بواسطة 20% مثلاً .

2. يحدث لجزيئات البروتين ادمصاص في الحال على الغشاء (انظر شكل 1.14) . أيضاً في الثقوب ، وبذلك يقل عرض الثقب الحقيقي . يمكن أن يكون التأثير كبيراً . ومن الواضح أن تضييق الثقوب يزيد النفاذية .
3. يتم حجز جزء من المادة المذابة ، أي احتجاز للمذاب يسبب فرقاً في الضغط الإسموزي $\Delta\Pi$ على جانبي الغشاء ، وينتج عن ذلك فرق ضغط فعال صغير $\Delta P-\Delta\Pi$ يكون الانخفاض صغيراً ولنقل 10% .
4. يتكون منحدر تركيز لأن السائل يعبر الغشاء ولا يمر جزء من المادة في هذا السائل ، وقد تمت مناقشة هذا بالنسبة للشكل 3.12 . تقوي الظاهرة التأثير المذكور تحت السبب 3 ومع ذلك يبقى صغيراً .
5. تتكون طبقة هلامية من البروتين عند قيمة Q مرتفعة (انظر شكل 3.12) ويسبب هذا انخفاضاً آخر للتدفق ، ويزداد هذا التدفق كلما ازداد سمك الطبقة وارتفع الضغط ، لأن الضغط العالي يضغط طبقة الهلام ، وعلى ذلك يضيق ثقوبها ، تحسن عادة طبقة الهلام انعكاس محتويات كثيرة ، وبمعنى آخر تسرع نفاذية الغشاء .

يمكن أن تشرح الحقائق السابقة تأثيرات بعض العمليات ومتغيرات المنتج على تدفق الترشيح الفائق وعلى الأقل نوعياً ، تكون مكونات السائل على الجانب المضغوط غاية في الأهمية ، لأن ذلك يحدد إما أن تتكون طبقة الهلام أم لا . يؤثر الأس الهيدروجيني بقوة على ذوبانية البروتين .

وطبقاً لذلك سوف يكون التدفق عند حده الأدنى بالقرب من الأس الهيدروجيني متساوي الجهد الكهربي للبروتين (شكل 7.12) . بالإضافة على ذلك تكون ذوبان فوسفات الكالسيوم أساسية لأن مكونات الفوسفات هامة لطبقة الهلام ، وبسبب ذلك تزيد الخطوات التالية من التدفق : تزيد إزالة الكالسيوم (بواسطة الديلزة الكهربية) من الأس الهيدروجيني إلى 7.5 (تترسب بعض أملاح الكالسيوم قبل الترشيح الفائق ومن الصعب دخولها طبقة الهلام) ومع

ذلـك فـإن لمـدى التركيز المعبر عنـه مثلاً كمحتوى بروتين محتجز تـأثيراً يبطـل التـدفق . عنـدما يكون التركيز عـالياً ، تتكون دائمـاً طبقـة هلام جوهرية . وهـذا يبطئ بقوة الترشـــيح الفـائق ، بالرغم من اتخاذ أي احتياطات . حتى تدفق قليل للراشـــح من المحتجز عالي التركيز تســـبب تركيزاً إضافياً معتبراً .

يعتمد تكوين وسمك طبقة الهلام على ظروف الديناميكا المائية . وهذا بســـبب منحدر التركيز الذي يمكن فقط أن يتكون في طبقة حدود الصفيحة (شكل 3.12) . تحدد شدة الدوامات سمك طبقة الحدود . معدل تدفق المحتجز له تأثير جوهري كما يفعل الشـــكل الفراغي الحاوي للمحتجز . تســبب الزيادة في اللزوجة نتيجة التركيز أيضـــاً انخفاض الدوامات ، وعلى ذلك قابلية كبيرة لتكوين طبقة الهلام حتى عند محتوى بروتيني ثابت أي أن قيمة Q ثابتة . يقل تدفق الراشـــح في آخر الأمر نتيجة لزيادة كثافة طبقة الهلام .

يزيد طبيعياً تدفق الراشـح بزيادة الضـغط عبر الغشـاء ، ولكن ليس تناسـبياً . وهذا لأن التدفق العالي يســـبب منحدر تركيز أعلى ، وعلى ذلك يكون هناك احتمال أكبر لتكوين طبقة الهلام ، والتي لها تأثير معاكس للتدفق ، تقتضـي درجة حرارة تشـغيل عالية لزوجة سـائل منخفضـة وينتج عن ذلك تدفق أكبر .

ومع ذلك نحتاج أن نأخذ في الاعتبار وقت العملية ، وهذا التكون الســـريع لطبقة الهلام وهذا يعني أن التدفق يقل بســـرعة ، وأن العملية يجب أن تتوقف لكي نقوم بتنظيف المعدات ، تتكون طبقة الهلام أسرع عند درجة حرارة عالية بسبب (1) يكون ذوبان فوسفات الكالسيوم قليلاً (2) تحدث عند درجة حرارة أعلى من 55 درجة مئوية ، دنترة لبروتينات المصـل وهذا سـوف يقلل من ذوبانها . في الوقت الحاضر هناك اتجاه لزيادة وقت العملية بالعمل عند درجة حرارة منخفضة . ولأن هذا يعني تدفقاً قليلاً . يجب أن يكون سـطح الغشـاء كبيراً ، احتمالية وجود أغشـية أرخص نسبياً جعله من المربح فعل ذلك .

3.12 الإسموزية العكسية *Reverse Osmosis*

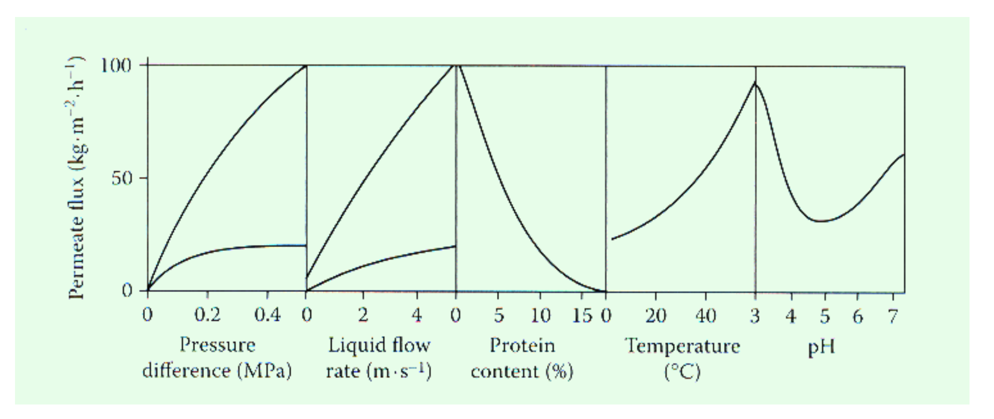
تختلف الإسموزية العكســـية عن الترشـــيح الفائق في اســـتخدام ضـــغوط عالية من 2 إلى 5 PaM وهي تزيل ماء ضـــد الضـــغط الإسموزي . يكون الضـــغط الإسموزي Π كبيراً للبن غير المركز أو الشـــرش $\Pi = 0.7Q^*$ ، حيث $Q^* =$ الزيادة النســـبية لمحتوى المادة الجافة بالنســـبة للماء (تحت فصـــل 1.1.10) ومن الواضـــح أن يكون الغشـــاء شـــبه منفذ ولا يعمل كمرشـــح (فلتر) عندما يكون ضـــيق الثقوب ولكن كطبقة من المادة التي بها ماء يســـتطيع الذوبان ومن خلالها يمكن أن يمر، بينما لا تســـتطيع أغلب المكونات الأخرى فعل ذلك ، أو الذي يبدو أنها تفعل ذلك ، نقل المكونات يحدث بواســـطة الانتشـــار الذي يكون شـــبه نفاذ . وبالتالي لا تستعمل معادلة 3.12 .

التدفق q (بالكيلوجرام متر$^{-2}$ ثانية$^{-1}$) لمادة X خلال الغشاء كالتالي :

$$q = \frac{D^* K \Delta C}{\delta} \qquad (12.4)$$

D^* هي معامل الانتشـــار الفعال (متر^2 ثانية$^{-1}$) لمادة X تقل قوته في الغشـــاء ، بشـــكل حاد بزيادة الكتلة المولارية لـ $K.X$ هي معامل تقسيم المادة X أي بنسبة ذوبانها في الغشاء إلى تلك في الماء . وتكون أصغر كثيراً من واحد ، وتهمل للجزيئات الكبيرة الكارهة للماء . $c\Delta$ هي تركيز المادة x (كيلوجرام.متر$^{-3}$) في المحتجز ناقص تلك الموجودة في الراشـــح . δ هي سمك الغشـــاء (متر) ويكون هذا صغيراً جداً لأنها تخص فقط الطبقة الرقيقة النشطة للغشاء .

من الواضـح أن المحتجز الذي تم الحصـول عليه بالإسموزية العكسـية يختلف بعض الشـيء عن المركز الناتج بعد التبخير . والمحتجز هو بكل الطرق ماء نقي ، معامل الانعكاس R^* (معادلة 1.12) لجزيئات صـــغيرة هي 0.75 إلى 0.99 وتختلف كثيراَ باختلاف تركيب الغشـــاء . يمكن أن تمر اليوريا إلى حد ما وحتى اللاكتوز . يمكن أن تفعل بعض الأملاح وببتيدات منخفضـــة الكتلة المولارية ذلك ، وطبقاً لذلك يمكن أن تنمو البكتيريا في المحتجز ، يتم احتجاز مواد النكهة المتطايرة بصورة مرضية .



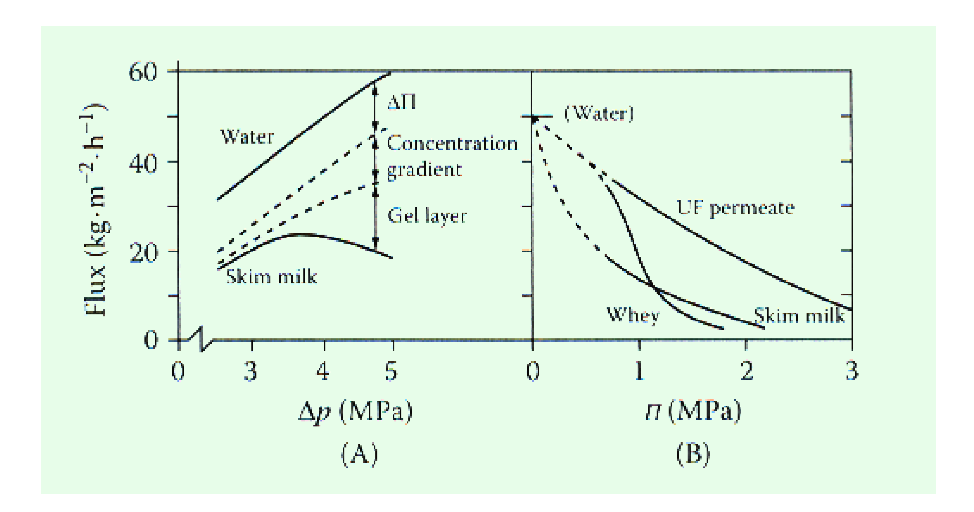
شكل 7.12 تأثير بعض العمليات ومتغيرات المنتج على معدل الترشيح الفائق ، أمثلة تقريبية للشرش . المنحنيات المرسومة تشير إلى محتويات بروتينية مختلفة ، حيث المنحنى الأعلى يشير إلى الشرش غير المركز

Figure 12.7 The influence of some process and product variables on ultafiltration rate. Approximate examples for whey. Two curves drawn refer to different protein contents, where the upper one refers to nonconcentrated whey

تزداد R^* لأغلب المكونات مع الضغط عبر الغشاء ΔP وتقل بزيادة الفرق في الضغط الإسموزي $\Delta\Pi$ على كل جانب من الغشاء (من ثم بزيادة تركيز المحتجز) لسائل مائي من المذاب X . سوف يكون التدفق متناسباً مع $\Delta P - \Delta\Pi$ وتدفق X إلى $\Delta P + \Delta\Pi$ وبكلمات أخرى ، يجب أن تضبط المعادلة 1.12 كالتالي :

$$R^* = 1 - \frac{(qx,0 / C^*)\,(\Delta P + \Delta\pi)}{q_{w_1 0}(\Delta P - \Delta\Pi)} \qquad (12.5)$$

حيث $q_{x_1 0}$ و $q_{w,0}$ هي تدفق المادة المذابة والماء على الترتيب للحالة الافتراضية وهي $\Delta\Pi = 0$ ، فمثلاً $\Delta\Pi / \Delta P$ في البداية هي 0.2 وتصبح 0.8 في نهاية العملية . افترض الآن أن $R^* = 0.9$ لـ $\Delta\Pi = 0$ وطبقاً للمعادلة 5.12 أثناء العملية تقل R^* من 0.85 إلى 0.1 يمكن أن تصبح R^* لبعض المركبات سالبة إذا كان السائل مركزاً للغاية ، ومن حسن الحظ أن R^* لأغلب المواد المذابة تكون أكثر ارتفاعاً وتزداد من 0.91 إلى 0.985 عندما تتغير $\Delta\Pi / \Delta P$ من 0.2 إلى 0.8 . بالإضافة إلى ذلك ، تكون كمية الراشح الكلية المنطلقة ناحية نهاية العملية صغيرة .



شـــكل 8.12 تأثير بعض العمليات ومتغيرات المنتج على تدفق الراشـــح أثناء الإسموزية العكســـية . أمثلة تقريبية للأس الهيدروجيني 6.7 ودرجة حرارة 30 مئوية (A) تدفق ماء نقي ولبن فرز خفيف التركيز ($Q^* = 1.5$) كدالة عن الضغط عبر الغشاء $P\Delta$. الأسباب المحتملة لاختلاف التدفق تم توضيحها تخطيطياً (B) تدفق بعض السوائل كدالة عن التركيز معبراً عنه بالضغط الإسموزي Π للمحتجز

Figure 12.8 The effect of some process and product variables on the permeate flux during reverse osmosis. Approximate examples for pH ≈ 6.7 and 30°C. (A) Flux of pure water and slightly concentrated skim milk ($Q^* \approx 1.5$) as a function of the transmembrane pressure Δp. The probable causes of the flux difference are shown schematically. (B) Flux of some liquids as a function of the concentration, expressed in the osmotic pressure Π of the retentate. (Data from J. Hiddink, R. de Boer, and P.F.C. Nooy, *J. Dairy Sci.*, 63, 204, 1980)

وفي الجانب الآخر يتكون منحدر تركيز بالقرب من الغشــاء (شـكل 3.12) يرفع $\Pi\Delta$ الفعلية فوق متوسـط القيمة . بالإضـافة إلى ذلك يقلل زيادة التركيز المحتجز R عند انعكاس ثابت R^* . يمكن أن تشـبه آخر كمية من الراشـح المنطلقة أثناء الإسموزية العكسـية الراشـح الناتج من الترشـيح الفائق أكثر منه للماء ، تعتمد هذه طبعاً على نوع الغشاء المستخدم .

باستخدام الإسموزية العكسية على الشرش أو اللبن الفرز يعطي تدفقاً أقل عند استخدام الماء النقي . يمكن مقارنة هذا بالحالات أثناء الترشيح الفائق ، إلا أنه من بين الأسباب المذكورة في

تحت فصـل 2.2.12 السـببان الأولان سـوف يكون لهما تأثير ، لأن لزوجة الراشـح تكون وتظل مشابهة للماء ، وليس هناك ثقوب يمكن أن تسد بالخبث . تكون زيادة الضغط الإسموزي غاية في الأهمية ، يكون تدفق الماء متناسـباً مع $\Delta P - \Delta\Pi$ (انظر النص التالي) نفترض أن اللبن الفرز تم تركيزه إلى 30% مادة جافة (تركيز أعلى لا يمكن الوصـول إليه عادة) وعادة ما يسـتخدم فرق الضغط $\Delta P = 4MPa$ في البداية .

$\Delta P - \Delta\Pi = 4 - 0.7 = 3.3MPa$ لـ 30% مادة جافة $Q = 30/9.3 = 3.23$ و $Q^* = 4.18$

وسـوف يؤدي هذا إلى $\Delta\Pi = 2.9MPa$ ومن ثم $\Delta P - \Delta\Pi = 1.1MPa$ وبمعنى آخر ، ينخفض الضغط عبر الغشاء الفعلي إلى الثلث أو حتى أقل ، لأن منحدر التركيز بالقرب من الغشاء يمكن أن يزداد كثيراً . وفي النهاية يمكن أن تتكون طبقة الهلام وخاصة عند ΔP عالي ، ضغط ΔP عالي ابتدائي يسـبب تدفق كبير ، وعلى ذلك يتكون منحدر تركيز قوي . تقلل هذه الطبقة التدفق . يوضح شكل A8.12 كل هذه الجوانب .

يعطي شكل B 8.12 أمثلة للتدفق عند تركيزات متزايدة ، كما تم أثناء الإسموزية العكسية لبعض السوائل ، تعتمد الاختلافات المستخدمة كثيراً على الاختلاف في تكوين الطبقة الهلامية . تكون جسـيمات الكازين هذه الطبقة . لا تكون البروتينات في الشـرش طبقة الهلام عند أس هيدروجيني ≥ 6 ولكن تكون طبقة الهلام عند أس هيدروجيني يساوي 4.6 . تكون البروتينات عند هذه النقطة أقل ذوباناً . تكون فوسفات الكالسيوم مشبعة في اللبن والشـرش ، وعلى ذلك فهي تلعب دوراً في تكوين طبقة الهلام ، خاصة في الشرش عند أس هيدروجيني متعادل . وهذا سببه أن الكازين يمكن أن يجمع فوسفات الكالسيوم غير الذائبة أكثر مما تستطيع بروتينات المصل . تكون فوسفات الكالسيوم عند أس هيدروجيني قدره 6 أقل جاهزية ، لأنها تكون فوق مشبعة . وعلى ذلك يمكن أن توجد في الإسموزية العكسية للشرش فإن النتائج التالية لتدفق الماء (كيلوجرام . متر$^{-2}$. ساعة$^{-1}$) :

الأس الهيدروجيني للشرش	6.6	6.0	4.6
التدفق الابتدائي	37	37	27
التدفق عندما تكون $Q=3$	5	20	15

يوضح شكل 8.12 B أيضاً أن التدفق يبقى عالياً أثناء الإسموزية العكسية للبن الفرز أو الشرش المرشحان ترشيحاً فائقاً . وهذا لأن قليلاً من طبقة الهلام يمكن أن تتكون وحتى لا تتكون هذه الطبقة على الإطلاق وعلى ذلك فإن $P\Delta$ العالي يمكن أن يطبق بدون انخفاض التدفق ثانية (كما في الشكل 8.12 A) .

لا تستخدم الإسموزية العكسية مطلقاً للبن الكامل ونادراً للبن الفرز ، يكون التدفق قليلاً ويكون التركيز الأقصى الممكن الحصول عليه منخفضاً . تستخدم العملية كثيراً للشرش ولترشيحات فائقة مختلفة ، خاصة كخطوة أولى في تصنيع المسحوق Manufacture of powder . يكون تركيز شرش الجبن إلى محتوى مادة صلبة 25% إلى 28% ممكناً ، ويركز المحتجز عادة أكثر بالتبخير قبل تجفيفه بالرذاذ (إلا أنه من الأفضل اقتصادياً أن يركز بواسطة ترشيح النانو *NF* إلى حوالي 18% مادة جافة قبل تبخيره) . يكون تدفق الراشح متناسباً مع لزوجة الماء (انظر جدول 10.A) وعلى ذلك يزداد بقوة مع درجة الحرارة . إذا استخدمت الإسموزية العكسية عند درجة حرارة منخفضة ، فإنه يمكن أن يحدث تبلور للاكتوز (انظر شكل 11.10) والتي يجب تجنبها عند درجة حرارة عالية ، ولنقل 55 درجة مئوية ، لا تشكل بلورات اللاكتوز مشكلة .

نوقشت تقنية العملية باختصار في تحت فصل 4.1.12 . الضغوط المرتفعة جداً التي تحتاجها العملية (2 إلى 4 *PaM*) تتطلب تحورات عديدة عندما تقارن مثلاً بالترشيح الفائق .

4.12 إزالة الأملاح *Desalting*

تستخدم إزالة الأملاح غالباً للشرش ، ويمكن أن يتم انجازها بطرق عديدة . وفي جميعها تزال الأيونات وليس الأملاح غير الذائبة (انظر تحت فصل 2.2.2) وهذا يتضمن مثلاً أنه عند أس هيدروجيني منخفض يكون من الصعب إزالة الأحماض العضوية ، لأن مجموعة الكربوكسيل تكون غير كاملة الذوبان ، يعوق وجود البروتين الذي عادة ما يكون ذا شحنة سالبة إزالة الأيونات المضادة (وخاصة أيونات الكالسيوم Ca^{2+}) ويسرع الأيونات المساعدة (مثل الكلورين Cl^{-}) .

الديلزة الكهربية (*ED*) ، هنا تزال الأيونات من الشرش نتيجة لمنجدر فرق جهد كهربي Electric potential gradient ووجود نوعان من الأغشية ، نوع منفذ للأنيونات والآخر منفذ للكاتيونات . يكون الضغط عبر الغشاء عامة صفراً . يعاد تركيز الشرش بواسطة الإسموزية العكسية أو الترشيح إلى حوالي 20% مادة صلبة قبل عملية الديلزة الكهربية ، وهذا يزيد تركيزات الأيون ويقلل من التكاليف . بجانب إزالة أملاح الشرش ، بمكن إنتاج سائلين ملحيين والتي يجب أن تكون متجددة . يختلف معدل الإزالة مع نوع الإيونات . وهذه أمثلة للنسب المزالة عندما تزيل الملح من الشرش هي :

تزال بواسطة	الديلزة الكهربية 40%	الديلزة الكهربية 60%	ترشيح النانو
البوتاسيوم + الصوديوم	42	64	45
الكالسيوم	24	35	6
الكلور	71	89	54

حيث وضعت نتائج ترشيح النانو للمقارنة ، تشير نسب الديلزة الكهربية وترشيح النانو إلى نسبة الأملاح الكلية المزالة . ويمكن للديلزة الكهربية أن تنجز 80% إزالة ولكن عادة نتوقف عند 60%

لأسباب اقتصادية . ولكي ننجز إزالة أملاح أكثر فإن الديلزة الكهربية *ED* يمكن أن تتبع بواسطة متبادل أيوني .

المتبادل الأيوني *Ion Exchange*

يمكن أن يمرر الشرش على أعمدة تبادل أيوني لكي تزال منه الأملاح ، يعتمد معدل إزالة الأيونات المختلفة على خواص المادة الصمغية المستعملة Resins ، ولكن محتويات ملحية قليلة جداً يمكن أن نصل إليها . وهناك عيب هو أن الصمغ يجب أن يتجدد غالباً ، وهذا يحتاج كميات كبيرة من المادة الكيميائية والماء .

ترشيح النانو *Nanofiltration* : بالرغم من أن هذه الطريقة تكون أقل فاعلية لإزالة الأملاح عن الديلزة الكهربية ، إلا أن لها ميزة في أن السائل يكون أيضاً مركزاً . والتي غالباً ما تكون مطلوبة ، وبالتالي فهي عادة أكثر تكلفة من الديلزة الكهربية ، وقد أصبحت الطريقة المختارة لإزالة الأملاح جزئياً من الشرش .

يحدث ترشيح الناتج لأن مواد الغشاء تم تطويرها لكي يكون لها ذوبانية عالية– وعلى ذلك يكون لها نفاذية عالية– للأيونات أحادية التكافؤ والماء ، ولكن ليس للمكونات الأخرى . تكون عادة النفاذية للأملاح الأخرى منخفضة ، بينما تكون البروتينات ، اللاكتوز ، اليوريا وجزيئات غير أيونية صغيرة أخرى عكس ذلك كلية . أمثلة لنسب إزالة بعض الأيونات كدالة عن الأس الهيدروجيني تم توضيحهما في الجدول التالي :

الأس الهيدروجيني للشرش	4.6	5.8	6.6
الكالسيوم + الماغنسيوم	4	2	2
الصوديوم + البوتاسيوم	62	46	35
الأنيونات	40	37	29

تتكون الأنيونات المزالة من Cl^- في أغلب أجزائها . من الملاحظ أن إزالة الأملاح تعمل بصـــورة أفضل عند أس هيدروجيني منخفض .

يتم في أغلب الحالات تركيز الشرش إلى 20% مادة صلبة وإزالة كلية للأملاح تتراوح بين 40 و50% وعلى ذلك فإن إزالة كبيرة للأيونات أحادية التكافؤ يمكن أن تحدث بواســطة إعادة الترشيح . مازالت أغلب الأيونات الأخرى محتجزة أيضاً ، الشرش المتحصل عليه من خثارة الجبن الشـيدر بعد التمليح Cheddar curd والتي تحتوي على محتوى عالٍ جداً من كلوريد الصـوديوم ، يمكن أن يزال ملحها بكفاءة .

تكون الأغشـية مشـابهة لتلك المسـتخدمة في الإسموزية العكسـية في التركيب والتكوين . ومع ذلك فليس الاختلاف في الضـــغط الإسموزي بين المحتجز والراشـــح مرتفعاً جداً . لأن عامل التركيز لا يكون عالياً جداً ، والأيونات أحادية التكافؤ التي تعبر الغشـــاء تكون جزءاً معنوياً من الضـغط الإسموزي للشـرش وعلى ذلك ، فالضـغط عبر الغشـاء يتطلب ألا يكون عالياً كما هو في الإسموزية العكسية . ويبلغ عادة من 0.2 إلى $0.4 PaM$. وهذا يعني أن تقنية العملية تكون مشابهة لتلك المسـتخدمة في الترشيح الفائق . يتم ترشيح النانو غالباً عند درجة حرارة منخفضـة وتبلغ 25 درجة مئوية ، لأن اختيارية الفصل تقل مع زيادة درجة الحرارة .

مراجع مقترحة ***Suggested literature***

كتاب مرجعي واضـــح وشـــامل وفيه تم التأكيد على الجوانب الرئيســـية لجميع عمليات الفصل الغشائي ، ولكن لم يقدم كثيراً بالنسبة للتطبيقات العملية :

M. Mulder, Basic Principles of Membrane Technology; Kluwer Academic, Dordrecht, 1991, 2000.

كتاب شامل عن الجوانب النظرية والتطبيقية لكل أنواع الفصل الغشائي :

K. Scott, Handbook of Industrial Membranes, Elsevier, Oxford, 1995.

دراسات تنويرية عن الترشيح الفائق والإسموزية العكسية للسوائل اللبنية :

J. Hiddink, R. de Boer, and D.J.Romijn, Neth, Milk Dairy J.,32, 80, 1978, J Hiddink, R. de Boer, and P.C.F Nooy. J. Dairy Sci., 63, 204. 1980.

جوانب حديثة تم مناقشتها ، تطبيقات جديدة لعمليات الفصل الغشائي :

IDF Special Issue 9201, 1992; Advances in membrane technology for better dairy products, IDF Bulletin 311, 1996.

13 التخمر اللاكتيكي *Lactic Fermentations*

إذا تم حفظ اللبن الخام ، فإنه يفسد بفعل الميكروبات . عند درجات حرارة معتدلة ، تسود عادة بكتيريا حامض اللاكتيك . ويصبح اللبن حامضاً في الحال . تعتمد جميع أنواع منتجات اللبن المخمر على نشاط حموضة بكتيريا حامض اللاكتيك ، في هذا الفصل سيتم مناقشة بعض الجوانب الأساسية الميكروبية وسيتم معالجة أسس العمليات التصنيفية ، خاصة تصنيع البادئ ومداولته . البادئ هو مزرعة من كائنات ميكروبية خاصة تضاف إلى اللبن أو سائل آخر لكي تحدث التخمر المطلوب . كذلك سيتم التعرض لتصنيع الألبان المتخمرة مع التركيز على الزبادي في الفصل الثاني والعشرين . تخمر حامض اللاكتيك له أهميته في الزبد المزروع (فصل 18) وفي تصنيع ونضج الجبن (الجزء الرابع من هذا الكتاب) .

1.13 بكتيريا حامض اللاكتيك *Lactic Acid Bacteria*

بكتيريا حامض اللاكتيك هي العامل الرئيسي في إنتاج الألبان المتخمرة (المحمضة) ، والمنتجات اللبنية . وبالرغم من أنها مختلفة جينياً ، ألا أن لها خواصاً مشتركة . وتشمل بكتيريا موجبة الجرام ، غير متحركة ، وغير مكونة للجراثيم . بكتيريا حامض اللاكتيك غير قادرة على إنتاج مركبات البورفيرين المحتوية على الحديد مثل الكتاليز والسيتوكروم . وعلى ذلك فإنها تنمو غير هوائياً ولكنها تتحمل الظروف الهوائية Aerotolerant وهي تخمر السكريات إجبارياً وتنتج حامض اللاكتيك كمنتج نهائي أساسي . وهي ذات تغذية شديدة الحساسية ، وعادة تحتاج أحماضاً أمينية خاصة وفيتامينات B كعوامل نمو .

1.1.13 تصنيف ***Taxonomy***

هناك اثنا عشر جنساً لبكتيريا حامض اللاكتيك . منها أربعة كائنات تستخدم في تخمر الألبان ، لاكتوكوكس *Lactoccus* ، ليوكونوستوك *Leuconostoc* ، ستربيتوكوكس *Streptococcus* ، ولاكتوباسيللس *Lactobacillus* . جنس خامس هو انتيروكوكس *Enterococcus* يوجد عادة في مزارع بادئات غير معرفة . تستخدم صفات تصنيفية هامة للتفريق بين الأجناس والأنواع ، وهي صفات مورفولوجية (دائرية أو عصوية) ، أو نواتج التخمر النهائية (تخمرات متجانسة أو غير متجانسة) . وتتميز بكتيريا حامض اللكتيك بالآتي :

1- لأيض المواد الكربوهيدراتية مدى حراري للنمو .

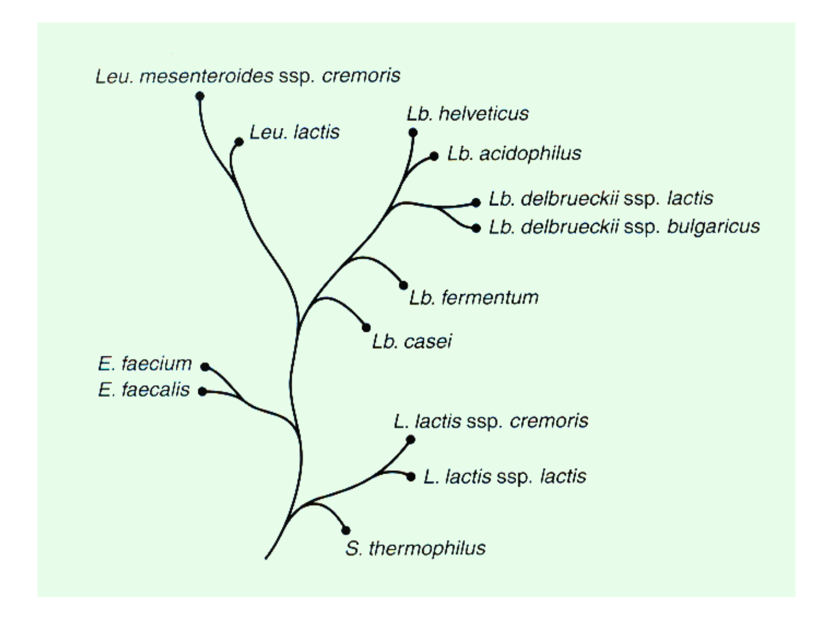
2- الشكل الفراغي الضوئي لحامض اللاكتيك الناتج مميز .

3- تحمل الأملاح .

4- الجمع بين تقنية الحامض النووي الديوكسي ريبوزي عديد الشكل المكبر عشوائياً (*RAPD*) وجين *rDNA* 165 الذي يكون كبيراً نوعاً (15 ألف نيوكليتيدة) ، وبعض من سلاسل تتابعاته تكون محفوظة بشكل كبير Highly conserved ، بينما يتغير بعضها .

5- المنطقة من الجين المحافظ عليها تحتوي على تتابعات نيوكلوتيدية خاصة بالجنس Genus-specific sequences ، بينما المناطق المختلفة تحتوي على تتابعات نيوكليتيدية خاصة بالنوع وتحت النوع .

6- تقنية *RAPD* غالباً ما تستخدم للتفريق بين سلالات أنواع البكتيريا ، لأنها تكون نظم تتابعات نيكلوتيدية للـ *DNA* خاصة للسلالة بواسطة تكبير وإضافة بادئات مختارة عشوائياً Arbitrarily chosen primers من حوالي عشرة نيكلوتيدات . هذه التقنية تم وصفها كطريقة بصمة كروموسومية . تستخدم علاقات لتحديد العلاقة التطويرية بين البكتيريا بدقة . ويعبر عنها بمسافات نسبية بين الأجناس والأنواع والتي تنشئ شجرة تطورية كما هو موضح في شكل 1.13 .



شكل 1.13 شجرة تطورية توضح العلاقات بين بعض بكتيريا حامض اللاكتيك E.Enterococcus ، L.lactococcus ، Lb.Lactobacillus ، Leu:Leuconostoc ، *S. Streptococcus*

Figure 13.1 Phylogenetic tree showing the relationships among some lactic acid bacteria. *E.*: *Enterococcus*; *L.*: *Lactococcus*; *Lb.*: *Lactobacillus*; *Leu.*: *Leuconostoc*; and *S.*: *Sterptococcus*. (Adapted from P.F. Fox et al., *Fundamentals of Cheese Science*, Aspen, Gaithersburg, MD, 2000)

2.1.13 الأيض *Metabolism*

تحتاج جميع بكتيريا حامض اللاكتيك كربوناً عضوياً كمصدر للكربون والطاقة . وهي لا تستطيع الحصول على الطاقة من النشاط التنفسي ، وعلى ذلك فإنها تعتمد أولاً على تفاعلات تحدث أثناء عملية هدم السكريات للحصول على الطاقة في شكل أدينوزين ثلاثي الفوسفات *ATP* . هناك أيضاً طرق أخرى تحافظ بواسطتها هذه الكائنات الحية على الطاقة وتوفر *ATP* ، كل هذه الطاقة سوف تستخدم لتأدية وظائف مثل نقل المواد الغذائية .

جدول 1.13 خواص تصنيفية لبعض بكتيريا حامض اللاكتيك المشتركة في تخمر اللبن والمنتجات اللبنية

Table 13.1 Classification Characteristics of Some lactic Acid Bacteria Involved in Fermentation of Milk and Dairy Products

الجنس Genus	النوع Species	الشكل Morphology	النمو عند درجة 10م Growth		الاعتماد الحراري Temp.Dependendence	تخمر اللاكتوز Fermentation Lactose[a]	مشابه حامض اللاكتيك Lactic acid Isomer[b]	أيض السترات Citrate Metabolism	إنتاج ثنائي الأسيتيل Diacetyl Production	تكوين عديدات السكر خارج الخلية EPS[c] Formation	مقاومة الأملاح 6.5% Tolerance Ageist 6.5% salt
لاكتوكوكس *Lactococcus*	*L.lactis Ssp.lactis*	كروي coccus	+	-	محبة للحرارة المتوسطة Mesophili	متجانسة	L	-	-	-/+	-
	L.lactis ssp. Lactis biovar dectetylactis	كروي	+	-	محبة للحرارة المتوسطة	متجانسة	L	+	+	-	-
	L.lactis ssp. Cremoris	كروي	+	-	محبة للحرارة الوسطى	متجانسة	L	-	-	-/+	-
ليكونوستيك *Lewconostic*	*Leu.mesenteroides Ssp.Cremoris*	كروي	+	-	محبة للحرارة الوسطى	غير متجانسة	D	+	+	-/+	-
	Leu.lactis	كروي	+	-	حرارة متوسطة	غير متجانسة	D	+	+	-/+	-
كس *Enter*	*E.faecolis*	كروي	+	-	حرارة متوسطة	متجانسة	L	+/-	-		+
	E.faecium	كروي	-	+	حرارة متوسطة	متجانسة	L	+/-	-	+	-
ستربتوكوكس *Streptococcus*	*S.thermophilus*	كروي	-	+	محبة للحرارة العالية	متجانسة	L	-	-	+	-
لاكتوباسيلس *Lactobacillus*	*Lb.helveticus*	عصوي	-	+	محبة للحرارة العالية	متجانسة	DL	-	-		-
	Lb.helveticus	عصوي	-	+	محبة للحرارة العالية	متجانسة	D	-	-	+	-
	Lb.delbrueckii ssp. bulgaricus	عصوي	-	+	محبة للحرارة العالية	متجانسة	D	-	-	-	-

Lb.delbrueckii ssp. lactis	عصوي	-	+	محبة للحرارة العالية	متجانسة	DL	-	-	-	-
Lb.acidophilus	عصوي	+	-	حرارة متوسطة	متجانسة	L	-	-	-	-
L.Casei	عصوي	+	-	حرارة متوسطة	متجانسة	DL	-	-	-	-/+
L.b.Plantarum	عصوي	+	-	حرارة متوسطة	متجانسة	DL	-	-	-	-/+
L.b.fermentum	عصوي	-	+	حرارة عالية	متجانسة	DL	-	-	-	

a. تخمرات متجانسة وتخمرات غير متجانسة ، d بعض السلالات تكون غير متجانسة ، اختيارياً ، e غير متجانسة إجبارية (انظر تحت فصل 1.2.1.13) .

b. L حامض اللاكتيك دوران دكسترو (Dextro) ، D حامض لاكتيك ذو ذوبان ليفو (levo) ، c تكوين عديدات تسكر خارج الخلية .

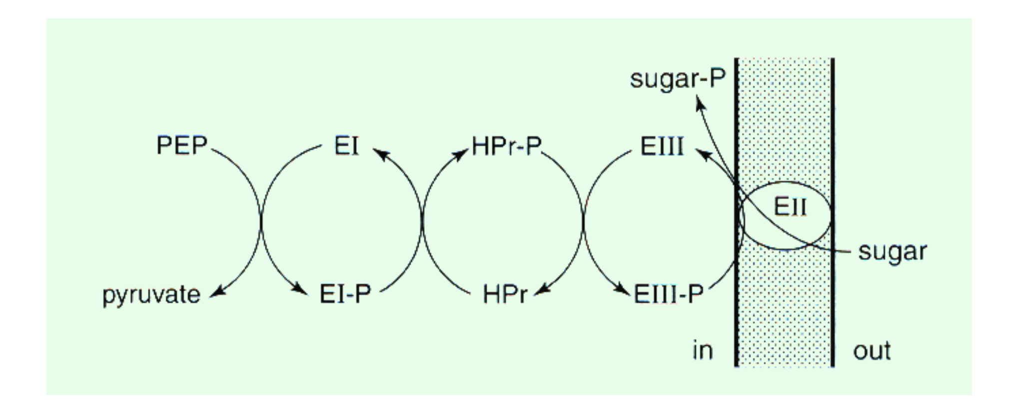
a. Homof: homofermentative; heterof: heterofermentative; [d]some strains are facultatively heterofermentative; [e]obligatively heterofermentative (see Subsection 13.1.2.1).
b. L: dextrorotatory lactic acid; D: levorotatory lactic acid (see Subsection 13.1.2.2).
c. EPS: exocellular polysaccharide.
+/-: some strains do, others do not.

أثناء نمو البكتيريا في اللبن ، المصدر الأساسي للطاقة هو اللاكتوز ، والذي يتحول إلى حامض اللاكتيك وبعض المنتجات الأخرى عن طريقين أيضيين مختلفين . مظهر أيضي آخر لبعض بكتيريا حامض اللاكتيك هو القدرة على أيض حامض الستريك ، الذي يعتبر مكوناً ثانوياً في اللبن ويمكن أن يتحول إلى ثنائي الأسيتيل diacetyl الذي يسبب ظهور نكهة هامة في منتجات الألبان المخمرة . تكون بكتيريا حامض اللاكتيك الموجودة في اللبن أيضاً متكيفة لاستخدام الكازين كمصدر للنيتروجين . هذه البكتيريا قادرة على تحليل هذا البروتين والببتيدات المشتقة منه لكي تفي باحتياجها من الأحماض الأمينية ، سوف توصف جميع هذه الأنشطة الأيضية بالتفصيل في تحت الفصول التالية .

1.2.1.13 أيض اللاكتوز *Metabolism of Lactose*

الامتصاص والتحلل المائي Uptake and hydrolysis : الخطوة الأولى في أيض اللاكتوز هو نقله إلى داخل الخلية ، هناك جهازان أساسيان يستخدمان بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك لنقل اللاكتوز عبر غشاء الخلية . أولهما هي ميكانيكية نقل المجموعة والتي فيها يفسفر اللاكتوز أثناء مروره عبر الغشاء السيتوبلازمي . المصدر الابتدائي للفوسفات هو المادة الوسطية لهدم السكريات عالية الطاقة ببروفان فوسفواينول PEP ، والعملية تسمى جهاز فوسفوترانسفيريز بيروفان فوسفوانيول $(PEP-PTS)$. تشترك أربع بروتينات في هذا النظام (شكل 2.13) إنزيم واحد $(E11)$ وهو بروتين غشائي سيتوبلازمي والذي ينقل سكراً معيناً من خارج الغشاء السيتوبلازم إلى داخله ، حيث يحدث له فسفرة بواسطة بروتين ثاني خاص بالسكر . وهو إنزيم $E111$ والذي يوجد في السيتوبلازم . البروتينان الآخران ، إنزيم 1 $(E1)$ والهستيدين المحتوي على بروتين $H\,\mathrm{Pr}$ وهما بروتينات سيتوبلازمية غير متخصصة وتشترك في نقل بقايا فوسفات من PEP إلى $E111$. يتراكم نتيجة لهذه التفاعلات اللاكتوز – فوسفات خلال الخلايا Intracellularly عند فوسفات غنية بالطاقة . تتحلل فوسفات اللاكتوز مائياً إلى جلوكوز وجالاكتوز–6– فوسفات

بواســـطة إنزيم فوســـفو-بيتا جالاكتوزيديز $(P-B-gal)$ يتحول الجلوكوز إلى جلوكوز- 6- فوسفات ، وكلا فوسفات السكر يتم أيضها بعد ذلك نظام $PTS-PEP$ مميز للاكتوكوكس .

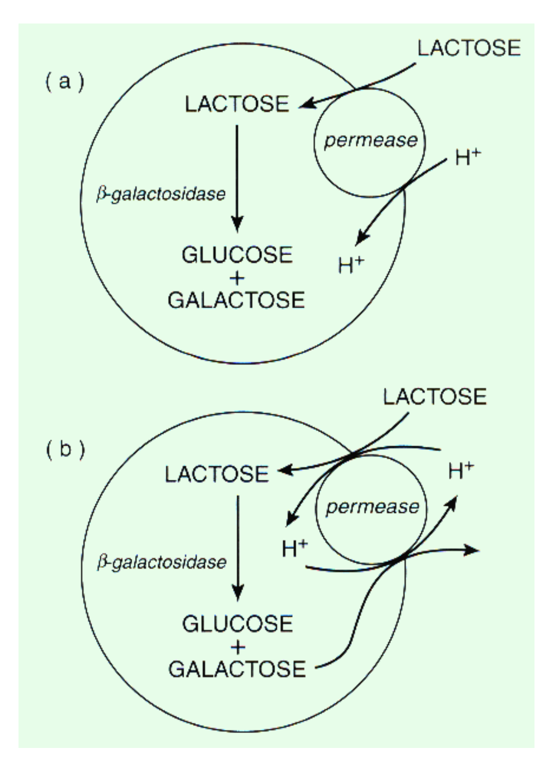


شكل 2.13 تمثيل تخطيطي لنظام فسفوترانسفيريز (PTS) لنقل السكر عبر الغشاء

Figure 13.2 Schematic representation of the phosphotransferase (PTS) system of sugar transport over the membrane. (Adapted from V. Monnet, S. Condon, T.M. Cogan, and J.-C. Gripon. In: T.M. Cogan and J.-P. Accolas, Eds., *Dairy Starter Cultures*, VCH Publishers, Cambridge, U.K., 1996)

يشـمل النظام الثاني لنقل اللاكتوز داخل خلايا بكتيريا حامض اللاكتيك البروتينات السـيتوبلازمية (البرميزس Permeases) التي تنقل الســـكر داخل الخلية بدون تحورات كيميائية . تنقل البروتينات السيتوبلازمية الموجودة في غشـاء السيتوبلازم اللاكتوز مع البروتونات داخل السيتوبلازم (شـكل a 3.13) راشح اللاكتوز هو نظام نقل نشط . تكون الطاقة في شكل قوة دفع بروتون تتكون بواسطة إنزيم *ATPase* عبر الغشاء على حساب التحليل المائي لل *ATP* . بعض بكتيريا حامض اللاكتيك المحبة للحرارة ، عندما تنمو في اللاكتوز تخرج جزء الجلاكتوز من الجزيء بكميات مناســـبة لكمية اللاكتوز التي تمت مصـادرتها (شـكل b 3.13) . لا تكون أغلب هذه السـلالات قادرة على أيض الجلاكتوز أكثر . في هذه البكتيريا ، راشـــح واحد عبر الغشـــاء ينقل جزيئات اللاكتوز داخل

الســـيتوبلازم وجزيئات اللاكتوز خارج الخلية ، تدعم الطاقة المتولدة خلال تدفق الجالاكتوز أخذ اللاكتوز ، يتم التحليل المائي للاكتوز إلى جلوكوز وجالاكتوز بواســـطة الإنزيم بيتا–جالاكتوزديز $(B-gal)$ نظـام النقـل يكون مميزاً لبكتيريـا بـادئ الألبـان عن نوع بكتيريـا اللاكتوكوكس *Lactococcus* species .



شـكل 3.13 نماذج تمثيل اللاكتوز عن طريق البروتينات السـيتوبلازمية الناقلة للاكتوز (Permeases) (a) الحمل المتزامن للاكتوز/ H^+ (b) الحمل المضاد للاكتوز/جالاكتوز

Figure 13.3 Models for uptake of lactose via lactose permease. (a) Lactose/H^+ symport; (b) lactose/galactose antiport. (Adapted from V. Monnet, S. Condon, T.M. Cogan, and J. –C. Gripon. In: T.M. Cogan and J.-P. Accolas, Eds., *Dairy Started Cultures*, VCH Publishers, Cambridge, U.K., 1996)

أيض إضـافي Further Metabolism : في بكتيريا اللاكتوكوكس *Lactococci* يتم الأيض التالي للجلوكوز- 6- فوسـفات عن طريق هدم السـكريات أو أميدين-مايرهوف (*EM*) ، وجالاكتوز- 6- فوسفات تدخل مسار تاجاتوز Tagatose pathway (شكل 4.13) مميزات هذا المسار في وجود إنزيمات الألدوليز Aldolases ، التي تكون ضـــرورية في التحليل المائي للهكســـوز داي فوسـفات إلى P-3- جليسـرالدهيد المنتج المتخمر الوحيد لهذه المسـارات هي حامض اللاكتيك ، ولذلك يسـمى هذا الأيض يسـمى التخمر المتجانس لحامض اللاكتيك Homofermentative lactic acid fermentation .

يتحول مول واحـد من اللاكتوز إلى 4 مولات من حـامض اللاكتيـك . يحـدث أيض الجلوكوز والجلاكتوز بواســطـة بكتيريـا حـامض اللاكتيـك المحبـة للحرارة عن طريق هـدم الســكريـات ، ولكن بعض من هـذه البكتيريـا تخمر فقط جزءاً الجلوكوز من اللاكتوز . ويفرز الجلاكتوز كجزيء متبـادل exchange molecule لنقـل اللاكتوز داخـل الخليـة (انظر النص التـالي) . يعطي في هـذه الحـالـة أيض اللاكتوز فقط 2 مول من حامض اللاكتيك .

نوع الليوكونوســتوك Leuconostoc وبعض اللاكتوبـاســيللي Lactobacilli تخمر الجلوكوز عن طريق مســـار فوســـفوكيتوليز Phosphoketolase pathway ويتحول الجلاكتوز إلى جلوكوز-1-فوســفـات عن طريق ليلور Leloer route . يحـدث عن وجود الجلوكوز-6-P ديهيـدروجينيز والفوســـفوكيتوليز تحويـل 6-P- جليكونـات إلى ثاني أكسـيد الكربون ونيتوز-5-q والتي تتحول بدورها إلى جليسـرالدهيد-3-P واسـيتيل -P . يكون تحويـل الجلســرالـدهيـد-3-P إلى حـامض اللاكتيـك بواســطـة مســـار هـدم الســكريات Glycolytic pathway وأســيتيـل-P تتحول إلى الإيثانول Ethanol ، وعلى ذلـك ، يتكون حـامض اللاكتيـك بجـانـب منتجـات أخرى ، وعلى ذلـك فهـذا الأيض يســمى التخمر غير المتجـانس لتخمر حـامض اللاكتيـك Heterofernentative . ينقص

بكتيريا تخمر حامض اللاكتيك الإنزيم المفتاح key enzyme لمســـار التخمر المتجانس ، فركتوز –1–6– داي فوســـفـات الـدوليـز Fructose-1,6-diphosphate aldolase . بـعـض اللاكتوباســـيللي المحتوية على هذا الإنزيم تخمر اللاكتوز تحت ظروف عادية إلى حامض اللاكتيك كلياً . وتحت ظروف محدودة قد يحدث تخمر للمواد الكربوهيدراتية إلى حامض اللاكتيك . وحامض الأستيك والإيثانول وحامض الفورميك . ويظهر أنها تعكس نشاط عدة إنزيمات لتحويل البيروفات إلى منتجات أخرى غير حامض اللاكتيك (انظر تحت فصـــل 2.2.1.13) هذه اللاكتوباســـيللي تســـمى عادة بكتيريا التخمر غير المتجانس الاختياري Facultatively heterofermentative لكي نميزها عن بكتيريا التخمر غير المتجانس الإجباري Obligatively heterofermentative Lactobacilli .

تســـتخدم بعض بكتيريا حامض اللاكتيك ذات تخمر غير متجانس أو متجانس نظام البيرميز Permease system في نقل اللاكتوز داخل الخلية ، هذه البكتيريا متجانســـة التخمير تنتج الفركتوز 6– فوسفات من الجلوكوز 6– فوسفات ، بينما البكتيريا غير متجانسة التخمر تنتج 6– فوسفوجليكونات كما هو موضح في شكل 4.13 .

إنتاج الطاقة *Energy yield*

يشـــترك كل مســـار خطوات تفاعل متتابع لتُحفَز بواســـطة عدة إنزيمات . يكون محتوى الطاقة الحر للمواد الأيضـية منخفضـاً عن المنتجات الســابقة (متطلبات الديناميكا الحرارية) ولكن ليس لكل خطوة تفاعل طاقة مقيدة . تتابع التفاعلات بطريقة أن أغلب نقل الطاقة الحرة يحدث في خطوة واحدة ، ويؤدي ذلك إلى تكوين فوســـفات عالية الطاقة ، أي ATP مســـاعد الإنزيم المسئول عن نقل الفوسفات والطاقة . تكوين *ATP* من *ADP* أدينودين ثنائي الفوسفات يحدث على حســـاب نقص نيكوتين أميد أدنين داي نيوكليوتيد (NAD^+) ، مســـاعد الإنزيم اللازم لنقل الإلكترونات والهيدروجين إلى *NADH* . الـــ *NADH* يؤكسد ثانية لكي تتقدم عملية التخمر .

ولأن كمية NAD^+ في الخلية البكتيرية يكون قليلاً جداً . تتكون أثناء التخمر المتجانس الأمثل لمول واحد من اللاكتوز إلى حامض لاكتيك ، 4 مولات من ATP .

$$Lactose + 4H_3PO_4 + 4ADP \rightarrow 4lactic\,acid + 4ATP + 3H_2O$$

تتحول 95% من السكر إلى حامض لاكتيك وتعمل بكتيريا تخمر حامض اللاكتيك تخمراً متجانساً كمضخة حامض لاكتيك .

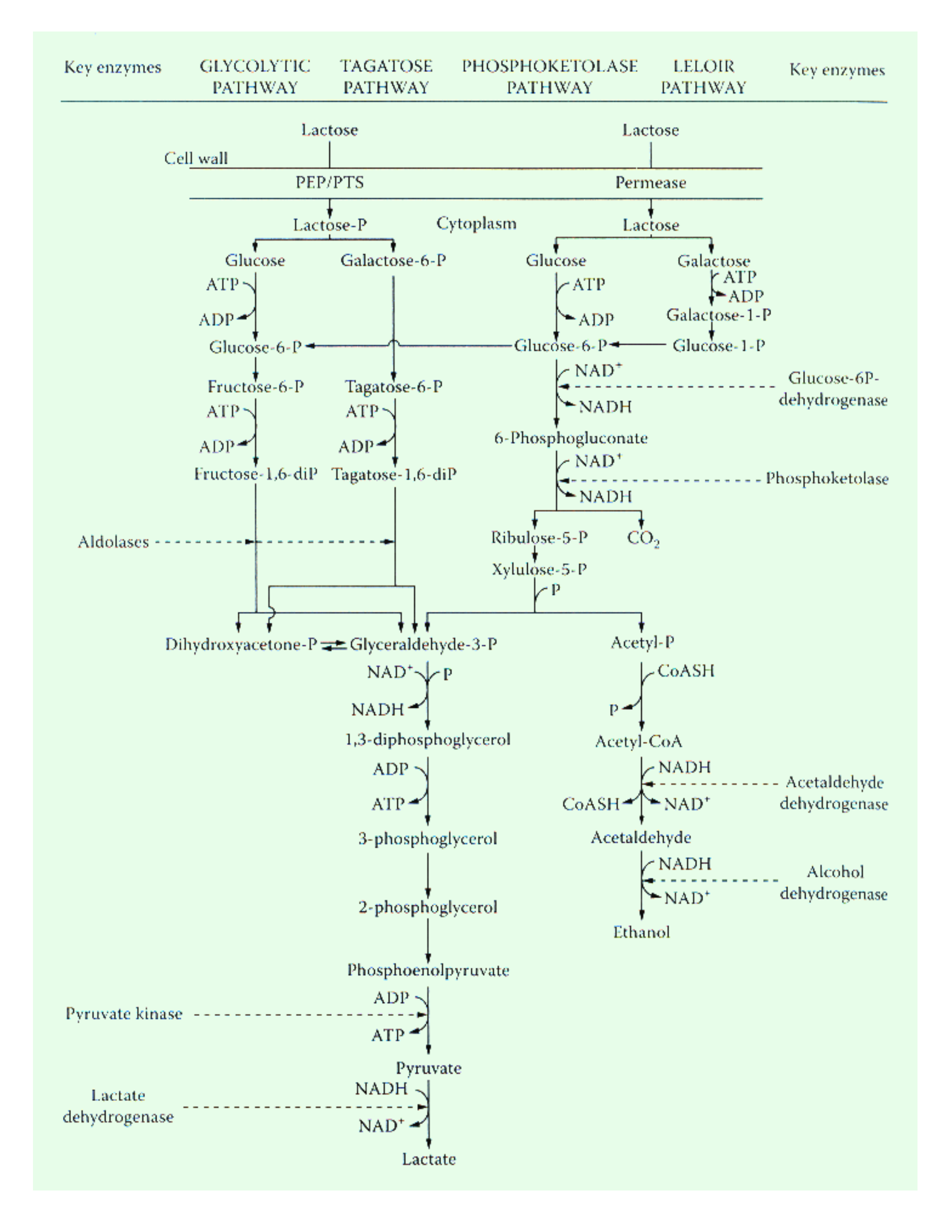
أثناء تكون التخمر غير المتجانس لحامض اللاكتيك ، تكون حصيلة الـ ATP لكل مول من اللاكتوز هي 2 فقط .

$$Lactose + 2H_3PO_4 + 2ADP \rightarrow 2lactic\,acid + 2ethanol + 2CO_2 + 2ATP + H_2O$$

تكون الإيثانول يحتاج طاقة كبيرة ، وطبقاً لذلك لوجود مكتسب هيدروجيني آخر another hydrogen acceptor يسبب تحول تفضيلي للأسيتيل $-P$ إلى حامض الأسيتيك والذي بواسطته يتكون ATP واحد (انظر تحت الفصل التالي) .

2.2.1.13 أيض البيروفات ***Pyruvate Metabolism***

نوع حامض اللاكتيك المتكون Type of lactic acid formed : تنجز بكتيريا حامض اللاكتيك تجديد NAD^+ باختزال البيروفات إلى لاكتات بواسطة إنزيم اللاكتات ديهيدروجينيز . اللاكتات يمكن أن توجد كمتشابه فراغي L أو D . وتوجد اللاكتات ديهيدروجنيز الخاصة بكل متشابه فراغي في هذه البكتيريا . تحتوي بكتيريا حامض لاكتيك معينة على كلا الإنزيمين . والتي عادة ما تختلف في النشاط لدرجة أن النسبة بين كمية كلا المتشابهين الفراغيان الناتجين تختلف بصورة واسعة ، فإذا كانت النسبة 1 ، فإن المنتج المتحصل عليه يسمى مخلوط متعادل Racemic Mixture (DL) . بعض السلالات البكتيرية يمكن أن تكون مثل هذا المخلوط لأنها تحتوي على إنزيم لاكتات راسيميز Lactate racemase ، بالإضافة إلى اللاكتات ديهيدروجينيز Lactate dehydrogenase ، الراسيميز يمكن أن يحول متشابه فراغي إلى آخر .



شكل 4.13 أيض اللاكتوز في بكتيريا حامض اللاكتيك

Figure 13.4 Metabolism of lactose in lactic acid bacteria. (Adapted from T.M. Cogan and C. Hill. In: P.F. Fox, Ed., *Cheese*: Chemistry, *Physics and Microbiology*, Vol. 1, *General Aspects,* 2nd ed., 1993)

بعض النواتج من البيروفات Other products from pyruvate . اللاكتات هي المنتج السائد المتكون من البيروفات بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك في التخمرات المحتوية على تركيز عالي من اللاكتوز أو الجلوكوز . ومع ذلك قد تتكون عند تركيزات منخفضة جداً من هذه السكريات ، نواتج نهائية أخرى مثل الفورمات ، والأسيتان ، والإيثانول ، والأسيتون بنسب معنوية . الخطوة الأولى في هذا المسار البديل لأيض البيروفات هو تحويل البيروفات إلى أسيتيل مساعد الإنزيم Acetyl co *A* وهذا يكون مصحوباً بإنزيم حساس للأكسجين وهو بيروثات فورمات ليز Pyruvate formate lyase والذي ينتج فورمات وأسيتيل مرافق الإنزيم acetyl CoA A . وبالمقابل يمكن للبيروفات أن تختزل بواسطة مسار البيروفات ديهيدروجينيز وأثناءها يتكون أسيتيل مرافق الإنزيم *A* وثاني أكسيد الكربون ويختزل NAD^+ إلى *NADH* . أسيتيل مرافق الإنزيم *A* يمكن أن يتحول إما إلى أسيتات عن طريق الأسيتيل فوسفات لتخليق *ATP* إضافية أو إلى إيثانول عن طريق أسيتالدهيد لإصلاح عدم التوازن NAD^+ / *NADH* الذي تسببها خطوة الديهيدروجينيز (شكل 5.13) . في بكتيريا ستريبتوكوكس المحبة للحرارة يكون إنزيم البيروفات فورمات ليبيز في الشكل النشط حيث توجد كمية زائدة من السكر . وجود هذا الإنزيم يفسر إنتاج الفورمات بواسطة بكتيريا ستربتوكوكس ثيرموفيلس *Streptococcus thermophilus* ، والتي تكون ذات أهمية كبرى أثناء تصنيع الزبادي (فصل 4.22) .

اختزال الأكسجين Reduction of oxygen : تعتبر مسارات التخمر عادة مسارات غير هوائية ، لأن *ATP* يمكن أن تتولد في غياب الأكسجين بكتيريا حامض اللاكتيك تكون مقاومة للهواء aerotolerant أي أنها تتغلب على مشاكل السمية التي يسببها الأكسجين أو مواد الأكسجين الأيضية مثل سوبر أكسيد وفوق أكسيد الهيدروجين . الأكسجين عادة ما يختزل إلى ماء في هذه البكتيريا بواسطة كلا الميكانيكيتين المستخدمتان للفلافوبروتينات .

1. $$2NADH + 2H^{+} + O_2 \xrightarrow{NADH(H_2O)oxidase} 2NAD^{+} + 2H_2O$$

2. $$NADH + H^{+} + O_2 \xrightarrow{NADH(H_2O_2)oxidase} NAD^{+} + H_2O_2$$

$$NADH + H^{+} + H_2O_2 \xrightarrow{NADH\ peroxidase} NAD^{+} + 2H_2O$$

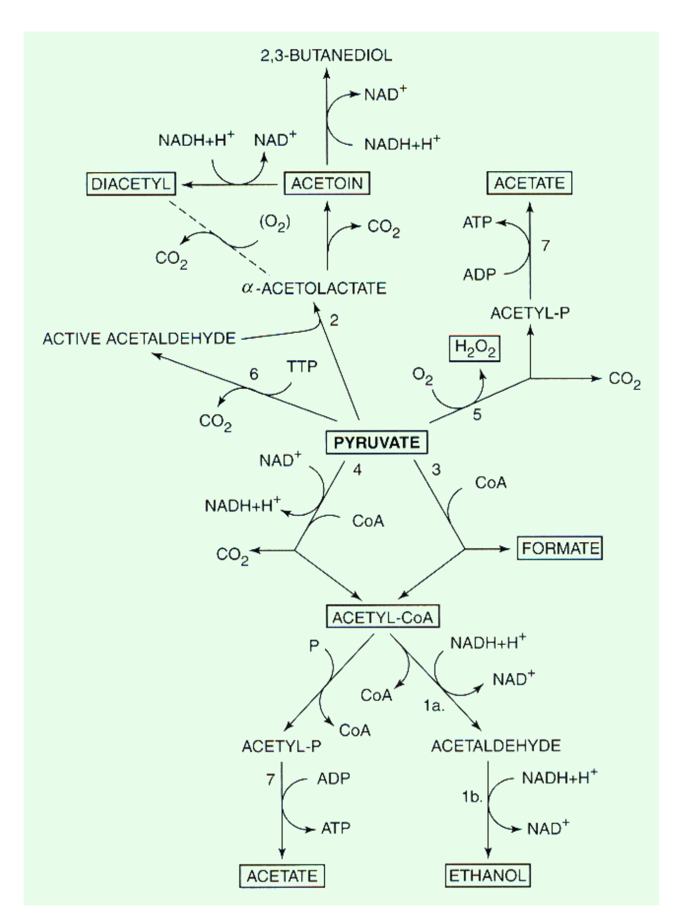
هذه التفاعلات تسبب انخفاض جهد الأكسدة – الاختزال بقوة ، بالإضافة إلى ذلك أكسدة $NADH$ إلى NAD^{+} يمكن البكتيريا من أداء عمليات تبادلية تنتج طاقة . ونتيجة لذلك التخمر غير المتجانس لبكتيريا حامض اللاكتيك يمكن أن ينتج حامض الأسيتيك بالإضافة إلى الإيثانول من الأسيتيل – P وبذلك يتضاعف محصول ATP . اتحاد إنزيم $NADH$ أوكسيديز مع بيرفات أوكسيديز قد وجد في بعض بكتيريا حامض اللاكتيك ولكن في أغلب بكتيريا اللاكتوكوكس يحفز إنزيم بيروفات أكسيديز تحويل البيروفات إلى أسيتيل – P الذي يحلل مائياً إلى حامض الأسيتيك و ATP (تفاعل 5 في شكل 5.13) .

معادلات التركيب لمواد أيضية هامة تم تضمينها ، في جدول 2.13 مسار أيضي بديل هام خلال البيروفات هو أيض السترات الذي سوف يوصف في الفصل التالي :

جدول 2.13 التركيب الكيميائي لبعض المنتجات في أيض البيروفات

Table 13.2 Chemical Structure of Some Products in the Metabolism of Pyruvate

Structure التركيب	Compound المركب
$CH_3-Co-CooH$	Pyruvic acid حامض البيروفيك
$CH_3-CHOH-COOH$	Lactic acid حامض اللاكتيك
CH_3-CHO	Acetaldehyde أسيتالدهيد
$CH_3-CO-C(COOH)OH-CH_3$	α-Acetolactic acid ألفا–أسيتو حامض اللاكتيك
$CH_3-CO-CO-CH_3$	Diacetyl داي أسيتيل
$CH_3-CO-CHOH-CH_3$	Acetoin أسيتون
$CH_3 - CHOH - CHOH - CH_3$	2,3-Butanediol 2 ، 3 بيتانيديول



شكل 5.13 المسارات البديلة لليرفات الأسهم المرقطة (الخط المستقيم الصغير) تشير إلى التفاعل غير الإنزيمي . المواد الأيضية الهامة والنواتج النهائية توضع في إطار . التفاعلات الإنزيمية المختارة تم ترقيمها : (a1) أسيتالدهيد ديهيدروجينيز (b1) الكحول ديهيدروجنييز (2) أسيتولاكتات سنتيز (3) بيروفات فورمات ليز (4) بيروفات ديهيدروجينيز (5) بيروفات أكسيديز (6) بيروفات ديكاربوكسيليز (7) أسيتات كينيز

Figure 13.5 Pathways for the alternative fates of pyruvate. Dashed arrow denotes a nonenzymatic reaction. Important metabolites and end products are framed. Selected enzymatic reactions are numbered: (1a) acetaldehyde dehydrogenase, (1b) alcohol dehydrogenase, (2) acetolactate synthase, (3) pyruvate fromate lyase, (4) pyruvate dehydrogenase, (5) pyruvate oxidase, (6) pyruvate decarboxylase, and (7) acetate kinase. (Adapted from L. Axelsson. In: S. Salminen and A. von wright, *Lactic Acid Bacteria,* 2nd ed., Dekker, New York, 1998)

3.2.1.13 أيض السيترات ***Citrate Metabolism***

البكتيريا لاكتوكوكس لاكتس *Lactococcus lactis ssp* والبكتيريا لاكتس بيوفار دي أسيتيلاكتيس lactis biovar-diacetylactis هي بكتيريا تخمر متجانس والبكتيريا ليكونوستوكس leuconostocs ذات تخمر غير متجانس ، خاصــة الســلالة ليوكونوســتوكس ميزينتيرويدس ssp سريموريس Leuconostocmesenteroides ssp.cremoris تقوم بأيض السيترات ولا تستخدم كمصـــدر طاقة ، ولكن تقوم بعملية الأيض فقط في وجود ســكر قابل للتخمر مثل اللاكتوز . تتكون بيروفات إضـافية أثناء أيض السيترات ، ولذلك فكثير منها تصبح متاحة أكثر من المطلوب لأكسدة الـــ *NADH* (المنطلق أثناء تخمر السكر) . وعلى ذلك تتكون نواتج نهائية خاصة مثل حامض الخليك ، ثاني أكسيد الكربون ، "ونواتج C_4" شاملة مثل الدي أسيتيل والتي هي مركبات نكهة هامة في بعض المنتجات اللبنية . الكائنات المســتخدمة في بعض الأحيان تســمى البكتيريا المكونة للنكهة .

تنقل الســترات إلى داخل الخلية بواسـطة سـترات البيرمييز citrate permease في البداية تتحلل الســترات مائياً إلى أسـيتات وثاني أكسـيد الكربون والبيروفات بواسـطة إنزيم السـيترات لييز citrate lyase حسب المعادلة :

$$
\begin{aligned}
&COOH - CH_2 - C(OH)COOH - CH_2 - COOH \\
&\rightarrow CH_3 - COOH + CO_2 + CH_3 - CO - COOH
\end{aligned}
$$

تكوين الداي أســـيتيل من البيروفات يمكن أن يحدث عن طريق الألفا–أســـيتولاكتيت acetolactate $\alpha -$ المتكونة بواسـطة تكثيف الأسـيتالدهيد النشـطة وجزيء آخر من البيروفات ألفا–أســيتولاكتيت يحدث لها إزالة مجموعة كربوكســيل وتتحول إلى أســيتون . يعتمد تكوين ثنائي أسيتيل من ألفا – أسيتولاكتيت على تعادل الأكسـدة – الاختزال في النظام . ألفا–أسيتولاكتيت هو جزيء غير ثابت وعند أس هيدروجيني منخفض ، تحدث له إزالة مجموعة كربوكســـيل (بدون مسـاعدة إنزيمية) ويعطي أسـيتوين acetoin . أو في وجود الأكسـجين وفي الحالة الأخيرة يجب أن تكون ألفا– أسيتولاكتيت خارج الخلية ، إنتاج الداي أسيتيل عن طريق المسـار ألفا– أسيتولاكتيت يظهر أنه هو الأكثر حدوثاً (انظر شكل 5.13) .

أثناء نمو البكتيريا من سـلالات داي أسـيتيلاكتيس Diacetylactis في اللبن ، محتوى الداي أسـيتيل والأسـيتون يزداد طالما وجدت السـيترات . السـيترات تثبط تخليق كلاً من الداي أسـيتيل والأسـيتون ريدكتيز . وعلى ذلك ، حالما اسـتهلكت السـترات فإنه يحدث انخفاض في مسـتويات كل من الداي أسـيتيل والأسـيتوين بتكوين الأسـيتوين و 3,2–بيوتانيديول -2,3 butanediol على الترتيب . ومع ذلك فالأس الهيدروجيني يصـبح منخفضـاً وكذلك أنشـطة الريدكيتيز المذكورة .

أثناء نمو البكتيريا ليوكونوستوكس Leuconostocs في اللبن ، يعتمد أيض البيروفات على الأس الهيدروجيني . وينتج الداي أسيتيل والأسيتوين فقط تحت أس هيدروجيني يساوي 5.5 وسبب ذلـك غير واضـح ، ولكن مواد أيضـية متوسـطـة مختلفـة نـاتجـة من التخمر غير المتجـانس لتخمر السـكر اتضـح أنها تثبط تكوين إنزيم ألفـا – أسـيتولاكتيـت سـنتيز $\alpha-$ acetolactatesynthase أثناء فترة نمو البكتيريا الابتدائية . أي أن إنتاج ألفا–اسـيتولاتيت يتم تثبيطه . ليس هناك $NADH/NAD^+$ مستخدمة في تحويل البيروفات إلى داي أسيتيل وأسيتوين عن طريق ألفا – أسـيتولاكتيز . تخفيض الداي أسـيتيل وأسـيتوين يحتاج $NADH$ ، فهو يمكن بكتيريا ليكونوسـتوكس leuconostocs من أكسـدة $NADH$ وإنتاج حامض الأسـيتيك مفضـلة ذلك عن الإيثانول أثناء أيض السـكر . ويتبع ذلك فقد لمركبات النكهة إلى حد ما ويعتمد ذلك بالطبع على سـلالة البكتيريا المسـتخدمة . البكتيريا ليوكونوسـتوكس لها قدرة اختزال قوية عن سلالات داي أسيتيلاكتيس *diacetylactis* .

سـلالات من سـتريبتوكوكس ثيرموفيلـيس *Streptococcus thermophilus* ولاكتوباسـيللس ديلبريكي *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus* لا تسـتطيع أيض السـيترات . وعلى ذلك أي داي أسـيتيل وأسـيتوين يجب أن يكون قد تكون من البيروفات الناتجة أثناء أيض السكر .

4.2.1.13 تنظيم الأيض *Regulation of Metabolism*

يتم ضبط مسارات تخمر السكر عند مستويين . يمكن أن يحدث الضبط عند مستوى التعبير الجيني الذي يحدد التركيز داخل الخلية لمسار إنزيمات التخمر . هذا المسار التحكمي يضبط عادة بواسطة خطوات مفتاحية في مسارات تحفز بواسطة إنزيمات يعدل نشاطها بواسطة المواد الأيضية المتخمرة ، من المعتقد عادة أن أغلب الجينات المسئولة عن مسار الإنزيمات الرئيسية ، مثل المسار *EM* ، تكون معبر عنها بشكل دائم . التنظيم عند مستويات التعبير الجيني والنسخ يلاحظ دائماً في الجينات المشتركة في نقل السكريات والتحليل المائي للسكريات الثنائية للتنظيم الدقيق عند مستوى التنظيم الجيني ، عدد من الخطوات المفتاحية تكون مشتركة شاملة إنزيمات نقل *PTS – PEP* ، فوسفوفركتوكينيز Phosphofructokinase ، بيروفات كينيز pyruvate kinase ولاكتات ديهيدروجينيز lactate dehydrogenase (انظر أشكال 2.13 و 4.13) .

تعتمد الـــ *PEP* المعتمدة على اللاكتوز *PTS* على توافر فوسفات البروتين ، والتي تكون مفسفرة أثناء تحويل *PEP* إلى البيروفات بواسطة البيروفات كينيز (شكل 2.13) . إذا كانت عملية هدم السكر منخفضة ، خاصة إذا لم يتبقى سكر ، تنخفض كميات الهكسوز داي فوسفات أيضاً . بالإضافة إلى ذلك يحدث تراكم للفوسفات غير العضوية في الخلية . ولأن الفوسفات غير العضوية تبطئ نشاط البيروفات كينيز الموجودة ، *PEP* ومتطلباته مثل 3– فوسفو و 2– فوسفوجليسرول (جهد *PEP*) سوف يتراكم . عندما يتوفر السكر ثانية ، فإن محتوى الفوسفات غير العضوية يقل ، وفي الحال جهد *PEP* يستخدم بالكامل لاستهلاك السكر .

تكون الخلايا التي يحدث فيها أيض السكريات عن طريق مسار هدم السكر ، فركتوز –1 ، 6– داي فوسفات في تفاعل يحفز بواسطة فوسفوفركتوكينيز Phosphofructokinase من فركتوز –6– فوسفات : فركتوز –1 ، 6– داي فوسفات هي حقيقة منظم مفتاحي لتدفق المواد الأيضية خلال هذا المسار . وهو يحفزتحويل *PEP* بواسطة البيروفات كينيز والخفض

المتتالي للبيروفات داخل حامض اللاكتيك . عند معدل مرتفع من التخمر ، أي عندما يكون مستوى الفركتوز -1 ، 6-داي فوسفات بين الخلايا مرتفعاً ، تتحول البيروفات إلى لاكتات . عند معدل منخفض لتخمر اللاكتوز فإن طيف المنتج النهائي يتغير ، كما هو موضح في تحت فصل 2.2.1.13 . وهذا يرجع إلى انخفاض في نشاط البيروفات كينيز وأيضاً في اللاكتات ديهديروجينيز الذي يرجع إليها انخفاض في الفركتوز1 ، 6- داي فوسفات وزيادة في الفوسفات غير العضوي .

بيروفات فورمات ليز Pyruvate formate lyase التي تكون قادرة على تحويل البيروفات إلى أسيتيل مرافق الإنزيم *A* (تحت فصل 2.2.1.13) ، تكون حساسة جداً للأكسجين ، لديها قدرة منخفضة للبيروفات عن قدرة اللاكتات ديهيدروجينيز ، وتثبط بواسطة فوسفات تريوز Triose phosphates وعلى ذلك تحت ظروف التخمر المتجانس والذي فيه ينشط اللاكتات ديهيدروجينيز بواسطة فركتوز1 ، 6- داي فوسفات ، يثبط بيروفات فورمات ليز بواسطة مستويات فوسفات تريوز . وعلى العكس ، عند معدلات منخفضة من التخمير ، تكون تركيزات فركتوز -1 ، 6- داي فوسفات ومثبطات البيروفات فورمات ليز منخفضة ، وبذلك تسمح بانحراف أكبر للبيروفات إلى أسيتيل مساعد الإنزيم *A* والفورمات .

عدة جوانب لتنظيم تحطيم السكر في بكتيريا لاكتوكوككي Lactococci يتم تلخيصها في حدول 3.13 .

5.2.1.13 إنتاج الأسيتالدهيد ***Production of Acetaldehyde***

تتراكم لأسيتالدهيد بكثرة بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك ، التي ليس عندها إنزيم كحول ديهيدروجينيز Alcohol degydro-genase . لا تستطيع هذه البكتيريا خفض الأسيتالدهيد (التي تتكون عن طريق مسار البيروفات فورمات ليز أو مسار البيروفات ديهيدروجينيز انظر شكل 5.13) إلى إيثانول . أمثلة البكتيريا التي تسبب تراكم الأسيتالدهيد توجد بين سلالات لاكتوككس لاكتس *Lactococcus lactis ssp. Lactisbiovar. Diacetylactis*

ولاكتوباسيلليس ديلبريكي *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaris* تنتج البكتيريا الأخيرة وبكتيريا ستريبتوكوكسي ثرموفيليس *Streptococcus thermophilus* أيضاً أسيتالدهيد من الأحماض الأمينية الحرة مثل الثريونين threonine طبقاً لـ :

$$threonine \xrightarrow{threonine\,aldolase} acetaldehyde + glycine$$

الثريونين ——تريونين الدوليز——← أسيتالدهيد + جليسينين

تنتج كثير من الأسيتالدهيد عن هذا المسار أكثر من أي مسار آخر .

وهذه صورة هامة لبكتيريا الزبادي لكي تنتج هذا المكون للنكهة المميزة ، والذي يكون ناتجاً من تحلل البروتين (انظر تحت فصل 6.2.1.13) . يتحول الجليسين المتكون إلى السيرين بواسطة سيرين هيدروكسي ميثيل ترانسفيريز . كلا المركبان يكونان مصدرين سائدين لوحدات كربون واحدة لازمة للتخليق البيولوجي لمشتقات حامض الفوليك ، والذي هو أيضاً مميز لبكتيريا الزبادي .

جدول 3.13 تحفيز (+) وتثبيط (−) بعض الإنزيمات بمركبات مختلفة في مسار هدم السكريات بواسطة اللاكتوكوكس

Table 13.3 Stimulation (+) and Inhibition (-) of Some Enzymes by Various Compounds in the Glycolysis Pathway of Lactococci

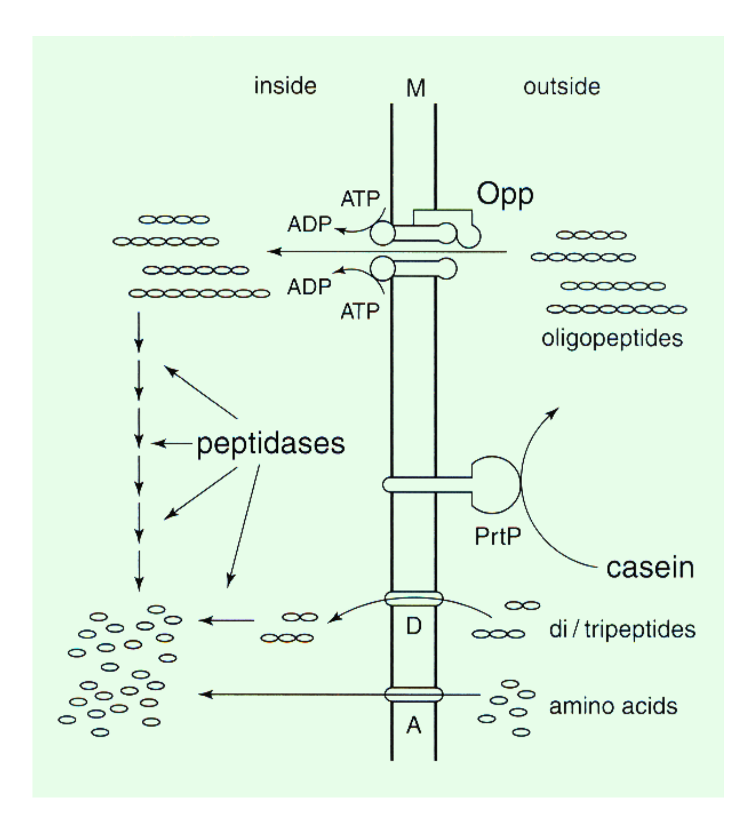
Triose-P	PEP	Pi	FDP	Enzyme
	+	-	-	PEP-PTS
	-	-	+	Phosphofructokinase
		-	+	Pyruvate kinase
		-	+	Lactate dehydrogenase
-			-	Pyruvate formate lyase

Note: FDP = fructose-1, 6-diphosphate; Pi = inorganic phosphate; PEP = phosphoenol pyruvate: triose-P = triose phosphates; PEP-PTS = phosphoenol pyruvate phosphotransferase system.

6.2.1.13 أيض البروتين ***Protein Metabolism***

تحتـاج النمو في اللبن Growth in milk : بكتيريـا حـامض اللاكتيـك إلى كثير من المواد الغـذائيـة ، يحتوي اللبن على كميـات غير كـافيـة من مركبـات نيتروجينيـة متـاحـة في الحـال (أي ببتيدات ذات كتلة مولارية منخفضـــة وأحماض أمينية) تســـاند نمو البكتيريا . وجود نظام إنزيمي محلـل للبروتين في الخليـة البكتيريـة هو متطلـب لنمو جيـد في اللبن ، والـذي يتكون من إنزيمـات متصـــلـة بغلاف الخليـة وكـذلـك الإنزيمـات بين الخلايـا . تحلـل الإنزيمـات المتتـابعـة جزيئات البروتينات الكبيرة لمركبات تمثيلية (شـــكل 6.13) وليس غريباً ، وجود هـذا النظام في بكتيريا حـامض اللاكتيـك في جـانـب واحـد ، ويكون نموهـا ومعدل إنتـاج الحـامض في الجـانـب الآخر مترابطاً ارتباطاً معنوياً . تنمو الســـلالات البكتيرية التي ينقصـــها إنزيم البروتينيز في جدار الخلية (تســـمى ســـلالات *prt*⁻) بصـــعوبة في اللبن في مزارع مختلطة ، تعتمد هذه الســـلالات على المركبات النيتروجينية التي أنتجت بواســـطة الســـلالات *prt*⁻ . تكون كمية بروتينيز جدار الخلية المتكونة بواســـطة ســـلالات *prt*⁺ منخفضـــة كثيراً إذا لم توجد ببتيدات صـــغيرة كافية في وسط الزراعة .

نظـام التحلـل البروتيني Proteolytic system : بروتينيزبكتيريـا لاكتوكوككـال (*prtp* في شـــكل 6.13) هو بروتينيز ســـيرين مثبت الغشـــاء والذي يخلق في البداية كبروتينيز غير نشـــط داخل الخلية ، ويتحول فيما بعد إلى بروتينيز نشـــط ناضـــج خارج الغشـــاء *prtp* ويوجد على الأقل في صـــورة متغيرات في بكتيريا لاكتوكوككي مع بعض التخصـــصـــات في تحلل كـازين اللبن ، تكون المعلومـات عن البروتينيز في بعض بـادئـات البكتيريـا محـدودة ، ولكن متـاحـة النتائج المتاحة توضـــح لنا أنها تشـــبه بروتينيز اللاكتوكوكال . النشـــاط المحلل للبروتين غائب في الســـتريبتوكوككس ثيرموفيليس وهذا يشـرح علاقة التعاون المحللة للبروتين بين هذا الكائن وبكتيريا *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* الموجبـة البروتينيز في مزارع الزبـادي (انظر النص التالي) .



شـــكل 6.13 نظام مســـار التحلل البروتيني في لاكتوكوككي لاكتيس . نقل ثنائي وثلاثي الببتيد وأحماض أمينية حرة تم توضيحها . *prtp* بروتينيز مثبتة بالغشاء ، *Opp* جهاز نقل قليل الببتيد ، *D* جهاز نقل ثنائي/ثلاثي الببتيد ، *A* جهاز أو أجهزة نقل الأحماض الأمينية ، *M* غشاء سيتوبلازمي

Figure 13.6 Model of the proteolytic pathway in *L. lactis*. Included is also the transport of di- and tripeptides and free amino acids. PrtP = membrane-anchored proteinase; Opp = oligopeptide transport system; D = di/tripeptide transport system (s); A = amino acid transport system (s); M = cytoplasmic membrane. (Adapted from L. Axelsson. In: S. Salminen and A. von Wright, Eds., *Lactic Acid Bacteria*, 2nd ed., Dekker, New York, 1998)

البتيدات المتكونة بواســـطة نشـــاط البروتينيز ، تحتوي على حوالي ثمانية بقايا أحماض أمينية يمكن أن تنقل عبر الغشـــاء الســـيتوبلازمي داخل الخلية . أجهزة نقل مختلفة تم التعرف

عليها وتشـــمل الببتيدات القليلة ، ببتيدات ثلاثية ، ببتيدات ثنائية وأحماض أمينية . الببتيدات يتم تحليلها داخل الخلية بواسطة الببتيديز إلى الأحماض الأمينية المنفردة اللازمة لتخليق البروتينات اللازمة للنمو .

تحويل الأحماض النووية ***Amino acid Conversion***

تكون الأحماض الأمينية من البروتين هامة لنضـــج الجبن (فصـــل 25) . أثناء النضـــج ، بكتيريا البادئ يمكن أن تموت وتتحلل وإنزيمات الببتيـديز بين الخلايا يمكن أن تعمل على وجود بروتينات ببتيدية حول الخلايا . الأحماض الأمينية الناتجة تعتبر بادئات هامة لمركبات النكهة التي تميز الجبن الناضـــج . هذه المركبات المســـببة للنكهة تتكون تتجه لتحول كميائي وكيميائي حيوي للأحماض الأمينية (انظر تحت فصل 5.25) .

أيض الأرجنين ***Arginine metabolism***

كثير من بكتيريـا حـامض اللاكتيـك تنتج أمونيـا NH_3 من الأرجنين . وفي الحـال ، ينتج مول واحـد من *ATP* لكـل مول أرجنين تم أيضـــه ، وينتج أيضـــاً الأورنيثين في هـذا التفاعل . والذي يتم تصـــديره من الخلية بواســـطة جهاز النقل . والتي تدفع تمثيل الأرجنين : ينتج لاكتوكوككس لاكتيس السلالات لاكيتس أمونيا عن طريق هذا المسـار ، بينما لاكتوكوككس لاكتيس الســـلالات ســـريموريس لا تســـتطيع ذلك نتيجة لعدم وجود واحد من إنزيمات هذا المسار .

7.2.1.13 التحلل الدهني *Lipolytic Activity*

يكون التحلل الدهني لبكتيريا حامض اللاكتيك محدوداً ، وهو يخص أســـاســـاً تحلل الجليسـريدات الأحادية والثانوية المتكونة من الجلسـريدات الثلاثية بواسـطة الليبيزات الغريبة . يمكن أن يكون لدى بكتيريا حامض اللاكتيك نشـــاط إنزيمات الأســـتيريز والتي تســـهل عملية أســـترة الأحماض الدهنية ، تحليل الدهن بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك أثناء نضج الجبن قد تم مناقشتها في فصل 25 .

8.2.1.13 تكوين السكريات العديدة الخارجية ***Formation of Exopolysaccharides***

يمكن أن تنتج ســـلالات كثيرة لبكتيريا حامض اللاكتيك ســـكريات عديدة خارجية (*EPS*) . يمكن أن توجد *EPS* كحوصـــلة أو كبســـولة متصـــلة بالخلية البكتيرية ، أو تفرز في اللبن ، وبالرغم من التركيب الكيميائي لـ *EPS* يظهر أنها تختلف من سلالة إلى أخرى ، يظهر كثيراً منها أنها تحتوي على جلاكتوز ، جلوكوز ، ورامنوز . وهناك بكتيريا حامض اللاكتيك منتجة لسكريات عديدة خارجية محبة للحرارة المتوسطة والعالية . أغلب السلالات ، ستربتوكوكس ثيرموفيليس ولاكتوباســيللس ديلبريكي ســـلالات بكتيريا بيلجاريكيس تنتج ســـكريات عديدة خارجية . تستخدم هذه الخاصية بصورة واسعة لتحسين النوعية الريولوجية للزبادي المحرك Stirred yogurt (فصـــل 4.22) تنتج بعض ســـلالات بكتيريا Lactococcus lactis ssp lactis و cremoris أيضاً سكريات عديدة خارجية (فصل 2.22) .

3.1.13 وراثة ***Genetics***

وقد أثبتت اســتخدام الوراثة لتحليل الخواص الفســيولوجية البيوكيميائية لبكتيريا حامض اللاكتيك نجاحها في شـرح هذه الخواص على المستوى الجزيئي . معلومات معنوية قد تم اكتسابها عن تحكمها وتنظيمها ، وهذا صحيح خاصة لكثير من الصفات الوظيفية الأساسية في أيض المواد الكربوهيدراتية والبروتينات (تحت فصـل 2.1.13) اكتشــاف أن بعض الجينات يكون مكانها على قطع *DNA* تســمى البلازميدات Plasnids بجانب الكروموســومات قد ســهل تقدم المعرفة عن الوراثة وفسيولوجياً بكتيريا حامض اللاكتيك .

التركيب ووظائف كل من البلازميدات-المتصلة والجينات الكروموسومية تم توضيحها وقد نتج عن ذلك خرائط جينية للبلازميد بالكامل وجينومات هذه البكتيريا Genetic maps of Whole plasmids and genomes of these bacteria .

تكون البلازميدات أصـــغر كثيراً من الكروموســـومات ، يتراوح حجمها بين حوالي 3 آلاف إلى 60 ألف زوج قاعدي ، تكون خواص عديدة لبكتيريا حامض اللاكتيك لازمة لتخمرات

اللبن ، مكودة Encoded على البلازميدات . تشـــمل هذه الخواص إنتاج إنزيمات البروتينيز ، الإنزيمات المشتركة في أيض وتمثيل اللاكتوز ، نقل السيترات ، إنتاج السكريات العديدة الخارجية ، إنتاج الباكتيريسـين Bacteriocin (تحت فصـل 4.1.13) ومقاومة لاقمات البكتيريا (تحت فصـل 3.3.13) Phage resistance .

يمكن أن يوجد عدة بلازميدات في الخلية ، البلازميد *DNA* يتضاعف دون الاعتماد على الكروموسـومات ، تحتاج كل خلية بنوية أثناء الانقسـام الخلوي ، نسـخة مطابقة من الـــ *DNA* الكروموسـومي ، ويمكن أن يحدث في أغلب الحالات نسـخ من البلازميدات أن خلية بنوية لا تزود بنســـخة من بلازميد معين ، وســـوف لا يظهر على هذه الخلية الخاصـــية المكودة Property encoded على هذا البلازميد ، وعلى ذلك خواص هامة لبكتيريا البادئ يمكن أن تفقد نتيجة مدة الزراعة ، والتي يجب تجنبها . تصـــبح الخلايا التي تفقد بلازميد إنزيم البروتينيز Proteinase plasmid ســـالبة البروتينيز (*prt*-) وبالتالي تنمو نمواً بطيئاً في اللبن (تحت فصـــل 6.2.1.13) . تكون البكتيريا التي تفقد بلازميد اللاكتوز غير قادرة على أيض اللاكتوز وعلى ذلك لا تستطيع أن تنمو في اللبن .

يمكن أن ينقل بلازميد الــــ *DNA* من خلية إلى أخرى من نفس النوع بواســـطة الاقتران Conjugation . وغالباً ما يشـــاهد حدوثه في البكتيريا Lactococci حيث توجد بلازميدات عديدة قابلة للاقتران : وهو يتوسط في إحداث اتصـال خلية بأخرى . وهذا يؤدي إلى نقل بلازميد هام مكود لصـــفات وراثية وفي بناء خلايا بها مجموعة من خواص مطلوبة ، أيضـــاً تقنيات فيزيائية تم تطويرها لنقل بلازميد *DNA* الذي يمكن أن يتكاثر من خلية إلى خلية أخرى . لعب اسـتخدام تقنيات الهندسـة الوراثية على البلازميدات دوراً رئيسـياً في فهم وراثة وأيض بكتيريا حامض اللاكتيك .

اشـــتركت بكتيريا حامض اللاكتيك في الاكتشـــافات الحديثة لتقدير تتابعات الجينوم Genome sequence . في الوقـت الحـالي ، جينومـات عـدة لهـذه البكتيريـا تم معرفـة تتـابع

نيوكليتيداتها (أي تسلسلها Sequences) . مقارنة تسلسلات جينوم عديد من أنواع وسلالات بكتيريا حامض اللاكتيك يتوقع أن يمدنا برأي حرج عن التطور الميكروبي ، شاملاً الأحداث الوراثية التي أدت إلى تأقلمها لبيئات متخصصة مثل اللبن .

سوف تصبح الوسائل الجينية في شكل مجسات DNA probes في متناول أيدي الباحثين المشتغلين بالبحث في جينومات عن جينات معينة و مجموعة جينات . سوف تسهل هذه المجسات المشيدة خصيصاً عرض مجموعات كبيرة لسلالات عن وجود صفات وراثية مرغوبة ، والتي نحتاجها لتصنيع ناجح لمنتجات لبنية مخمرة تقليدية أو جديدة .

4.1.13 الباكتيريوسينات *Bacteriocins*

تنتج بكتيريا كثيرة بروتينات تثبط نمو البكتيريا الأخرى ، وتسمى هذه البروتينات باكتيريوسينات عادة ، لها مدى ضيق وتثبيط فقط البكتيريا قريبة الصلة بها ، هذا مدى العائل الضيق وطبيعته البروتينية تميزها عن المضادات الحيوية . يكون إنتاج باكتيريوسين بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك شائعاً والأكثر شيوعاً هو النيسين Nisin والذي يمكن أن تنتجه بكتيريا لاكتوكوكس لاكتيس ssp لاكتيس ، وهو يحتوي على 34 حامض أميني ولهما كتلة مولارية قدرها 3353 دالتون . النيسين تحتوي على بعض الأحماض الأمينية العادية ، والتي تتكون بواسطة تعديلات بعد الترجمة Post translation almodification . واحد من هذه الأحماض الأمينية المحورة هو لانثيونين lanthionine ولهذا السبب يسمى نيسين بالانتيبيوتك (اللانتي الحيوي Lantibiotic) النيسين له مدى نشاط واسع نسبياً ، حيث يثبط البكتيريا باسيللس والبكتيريا كلوستريديوم Clostridium وبكتيريا ستافيلوكوككس *Staphylococcus* وبكتيريا ليستيريا *Listeria* وتكون نشطة خاصة ضد كلوستريديم ترويبتريكوم *Clostridium tyrobutyricum* التي يمكن أن تسبب إنتاج الغاز في الجبن شبه الجاف (فصل 2.26) .

بجانب النيسين هناك لانتيبيوتكات أخرى تنتجها بكتيريا حامض اللاكتيك مثل اللاكتيسين Lacticin 481 واللاكتوسين lactocin S المنتجة بواسطة لاكتوكوكس لاكتيس ssp

لاكتيس CNRZ 481 واللاكتوباسـيللي سـاكي lactobacillus sake على الترتيب . عدد الباكتيريوسـينات الصـغيرة المعرفة التي لا تحتوي على لانثيونين تكون كثيرة اللاكتوكوككسـين المنتج بواسـطة سـلالات بكتيرية من اللاكتوكوككس لاكتيس ssp سـريموريس المنتمية إلى هذه المجموعة ، يكون مدى نشاطها عادة أضيق عن مدى نشاط اللانتيبيوتك .

يتم تكويد الباكتيريوسـينات Encoded إما على البلازميدات أو على الكروموسـوم . أغلب الباكتيروسيدات المنتجة بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك لها طريقة عمل لقتل البكتيريا والتي تؤدي إلى تحطيم القوة المحركة للبروتون المشـتركة في عملية النقل . البكتيريا المنتجة للباكتيريوسـين أيضـاً لها جينات مكودة للمناعة للبكتيريوسـنات الخاصـة بها . تخليق بعض البكتيريوسـينات تتنبه فقط إذا وجد الكائن المستهدف .

البكتيريوسـينات ينظر إليها كمسـاعدات نافعة لزيادة أمان الغذاء وسـلامته ، بعضـها تم تعريفه والتي تثبط مسـببات الأمراض والميكروبات المسـببة لفسـاد الأغذية . تعتبر باكتيريوسـينات بكتيريا حامض اللاكتيك عادة آمنة للاسـتهلاك الآدمي . خواص أخرى مثل ثباتها للحرارة والأحماض . نشاطها عند أس هيدروجيني منخفض ويجعل من نشاطها لفترة ممتدة من الزمن مناسبة جداً للتطبيق في كيمياء الغذاء .

2.13 إنتاج الحامض ***Acid Production***

الخاصـية الأولى لبكتيريا حامض اللاكتيك هي إنتاج الأحماض خاصـة حامض اللاكتيك ، لذلك فحسـاب النمو البكتيري يتم تقليدياً بواسـطة تقدير كمية الحامض الناتج عن طريق عملية معايرة ، تكون قيم المعايرة غالباً معبراً عنها كنسـبة حامض اللاكتيك . وهذه عادة لم يتم إثباتها ، كما تم مناقشته في فصـل 2.4 لأغلب التطبيقات ، معرفة الأس الهيدروجيني يكون لها أهمية كبيرة ، بالإضـافة إلى ذلك من الممكن أن يقاس الأس الهيدروجيني على خط الإنتاج والتي يمكن أن تعتبر ميزة في قياس وضبط عمليات التحميض Acidification processes .

توضـــح العلاقة بين الأس الهيدروجيني ، ومعايرة الحموضـــة ، والعد البكتيري عدة تعقيدات :

1. تحلل الحامض Acid dissociation : إذا تم معايرة اللبن مع حامض الهيدروكلوريك فإن الحامض يتم تحلله بالكامل عند قيم أس هيدروجيني معني ، ولكن ذلك ليس الحال بالنســـبة لحامض اللاكتيك ، الآخر له pK قدرها 3.9 ، وبتطبيق أس هيدروجيني قدره 5.7 ، فإن الحامض لا يتم تحلله بالكامل . بالإضـــافة إلى ذلك ، ترتبط أيونات اللاكتات إلى حد ما مع أيونات الكالســيوم Ca^{+2} وأيونات الماغنســيوم Mg^{+2} . تســمح المعادلة بحســاب التحلل . شكل 7.13 a والمنحنيان 1 و2 يوضحان الفرق بين حامض الهيدروكلوريك وحامض اللاكتيك ، والتي تكون كبيرة عند أس هيدروجيني منخفض .
2. القدرة على التنظيم *Buffering Capacity* : تعتمد كمية الحامض التي نحتاجها لإحداث خفض معين في الأس الهيدروجيني على القدرة على تنظيم أي محلول منظم لبني وبالتالي على مكوناته ، القدرة على التنظيم عادة ما تكون نتيجة للبروتينات والأملاح الموجودة ، وهذا تم مناقشـــته في فصـــل 2.4 وشـــكل 1.4 تعطي أمثلة لذلك شـــكل 7.13 a يظهر المنحنيان 2 و 3 الفرق بين اللبن العـادي واللبن الفرز المركز . يكون الأخير مثـاليـاً للبن الزبـادي التقليدي . لأن القدرة على التنظيم في كريات الدهن في اللبن تكون قيمتها صـفراً . الحموضـة المقدرة بالمعايرة للقشـدة المحتوية على $X\%$ دهن سوف تكون $(100-X)\%$ من تلك الخاصية باللبن الفرز .
3. تغيرات أخرى Other changes : في اللبن يمكن للنمو البكتيري أن يؤثر على العلاقـة بين الأس الهيدروجيني والحموضـــة . بعض الأحماض يمكن أن تتكون مثل حامض الأســـيتيك $(pK = 4.7)$ وحامض الكربونيك (PK الأولى $= 6.3$) حامض السيتريك يمكن أن يستهلك (تحت فصل 32.1.13) ،وعلى ذلك تخفض الحموضة بشكل بسيط ، يمكن أن يسرع تحلل البروتين القدرة التنظيمية ، وتحلل الدهن الزائد يزيد الحموضة .

4. علاقة العد البكتيري Bacterial count vs. acid production بالحامض الناتج : يوضح شكل 7.13 b مثل هذه العلاقة ، الشيء الذي يجب أخذه في الاعتبار هو أن العد البكتيري يحسب على مقياس لوغاريتمي ، بينما سوف يكون معدل إنتاج الحامض متناسباً مع العد الفعلي . للحالة البسيطة ، وأثناء طور النمو الأسي العلاقة بين إنتاج الحامض A (مول/لتر) وفترة الحضانة t سوف تكون :

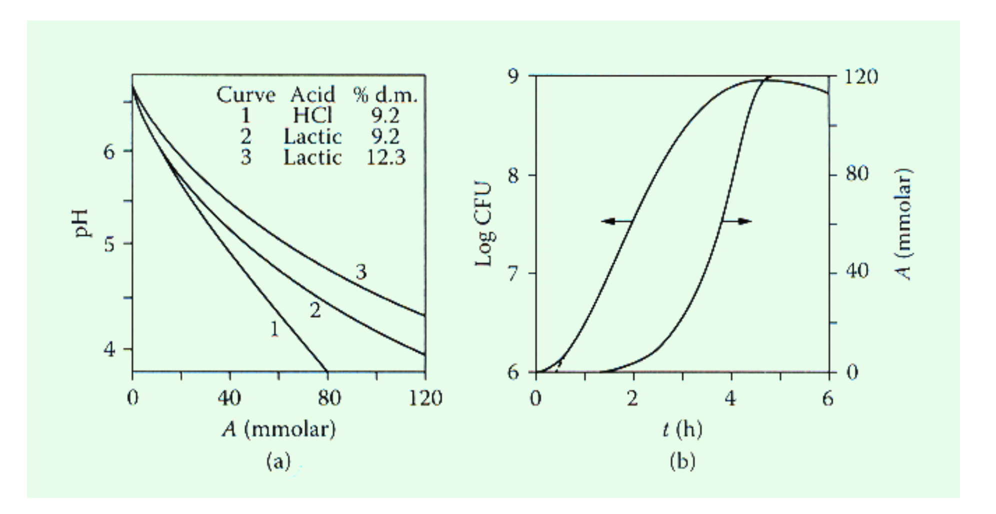
$$A = cNog(2^{t/g} - 1) \tag{1.13}$$

حيث c هي ثابت التناسب (بالمول/ثانية) ، No العد الابتدائي لكل لتر ، g هي وقت الجيل البكتيري .

5. الكتلة البكتيرية ضد العد البكتيري Bacterial mass vs. count : يكون معدل إنتاج الحامض متناسباً مع الكتلة البكتيرية ، وعدد CFUs لكل مليلتر يمكن ألا يكون مناسباً لهذه الكتلة (تحت فصل 4.1.5) . يمكن أن تتغير العلاقة بين الكتلة وCFU بين الأنواع والسلالات . ويمكن أيضاً أن تعتمد على ظروف النمو .

6. الأيض البكتيري : يمكن أن يختلف كثيراً (انظر تحت فصل 2.1.13) بعض الأنواع أو السلالات تنتج 4 جزيئات من حامض اللاكتيك من جزيء لاكتوز واحد وبعضها جزيئان فقط ، واختلافات أخرى تحدث أيضاً .

7. اقتران النمو والأيض Decoupling of Growth and metabolism : يمكن أن يحدث فقط تحت ظروف ثابتة ومثالية ، خاصة في طور النمو الأسي ، يكون معدل إنتاج الحامض متناسباً مع الكتلة البكتيرية . إلا أنه عندما يبطئ النمو أو حتى يقف ، خاصة نتيجة لتراكم حامض اللاكتيك ، يمكن أن يستمر الجهاز الإنزيمي للبكتيريا في تحويل اللاكتوز إلى حامض لاكتيك ، هذا تم توضحيه في شكل 7.13 b (بعد حوالي ثلاث ساعات) . الاقتران بين النمو والأيض عند ظروف أخرى غير ملائمة للنمو ، مثل درجة الحرارة المنخفضة ومحتوى الملح العادي أو مجموعة منهما ، عند ظروف قصوى فإن إنتاج الحامض يتوقف .



شـــكل 7.13 إنتاج الحامض بواســـطة بكتيريا البادئ . (a) منحنى المعايرة للبن الكامل واللبن الفرز المركز مع حامض الهيدروكلوريك أو حامض اللاكتيك ، d.m = المادة الجافة (b) العد البكتيري (الوحدات المكونة للمســـتعمرة [CFU] بالمليمتر$^{-1}$) وكمية الحامض المنتج (A) كدالة على الوقت (t) بعد كمية معينة من البادئ (0.1% تقريباً) أضيفت إلى اللبن ، ظروف خارجية ثابتة . أمثلة تقريبية

Figure 13.7 Acid production by starter bacteria. (a) Titration curves of plain and concentrated skim milk with hydrochloric or lactic acid; d.m. = dry matter. (b) Bacterial count (colony-forming units [CFU], in ml^{-1}) and amount of acid produced (A) as a function of time (t) after a certain quantity of starter (roughly 0.1%) was added to the milk; constant external conditions. Approximate examples

ويمكن أن نضـيف أن تركيز حامض اللاكتيك الحقيقي أي في الحالة غير المتأينة هو الذي يحدد متى يتوقف النمو . إلا أنه كلما ارتفع الأس الهيدروجيني ارتفع معه تركيز حامض اللاكتيك غير المتأين عند تركيز كلي محدد (طبقاً للمعادلة 4.2) يعتمد التأثير المثبط للأحماض الأخرى مثل حامض الأسيتيك أو سوربيك أيضاً على التركيزات غير المتأينة .

يختلف معدل إنتاج الحامض كثيراً مع ظروف النمو مثل درجة الحرارة ، المعاملة الســـابقة للبن Pretreatment of the milk (خاصـــة المعاملات الحرارية) ، ضـــغط الأكســـجين ،

... الخ (انظر كذلك تحت فصل 5.1.5) . عندما نفحص النمو أو القدرة على التحميض لبادئات مختلفة في تجارب معملية ، يمكن أن نتأكد أن ظروف النمو هذه تكون مشـــابهة بالضـــبط لتلك الموجودة أثناء التصنيع .

عندما يضاف بادئ إلى اللبن ، فإن ظروف النمو للبكتيريا لا تكون عادة مشابهة تماماً لما كان موجوداً في البادئ ، مثل المعاملة الحرارية للبن وضـــغطه الأكســـجيني يمكن أن يكون مختلفاً، وهذا يعني أن البكتيريا يجب عليها أن تؤقلم جهازها الإنزيمي بعض الشـيء قبل أن تصـل إلى معدل النمو الأقصـى . وهذا يمكن توضـيحه في وقت الكمون lag time– حوالي 0.5 سـاعة في المثال الموجود في شكل 7.13 b .

3.13 لاقمات البكتيريا *Bacteriophages*

اللاقم البكتيري يعرف بأنه فيروس يمكن أن يصـيب ويقتل البكتيريا ، تحدث الإصـابة إذا لاءم أو انطبق اللاقم على الخلية "fits" ويشـار إليه كلاقم متشـابه Homologous phage إذا انطبق أو لم ينطبق اللاقم فإنه عامة ما يعتمد على نوع الســلالة البكتيرية المشـــتركة . يمكن أن تصيب سلالة لاقم معين عدة سلالات بكتيرية لها علاقة قرابة لصيقة . تكون السلالات الأخيرة "مجالاً مضـيفاً" للاقم Host range . يمكن أن تنتمي سـلالة بكتيرية واحدة إلى المجال المضـيف لعدة سلالات للاقمات مختلفة . بعيداً عن القدرة على إصابة الخلية ، فإن الفيروسات تختلف عن الخلايا البكتيرية بغياب الجهاز الأيضـي Metabolic system (كما ذكر في تحت فصـل 1.1.5) لا يمكن اعتبار الفيروســات جزيئات حية وعلى ذلك يعتمد تكاثرها على الملاءمة الخارجية البيوكيميائية لخلية العائل ، يتداخل جزيء اللاقم البكتيري في الخلية البكتيرية مع أيض البكتيريا لدرجة أن الخلية البكتيرية تنتج لاقمات بدلاً من إنتاج وحدات بنائية خاصـة بها . اللاقمات ذات طبيعة معقدة ، وتوجد في اللبن الخام بأعداد منخفضـــة جداً ، ويمكن أن تتضـــاعف وتتكاثر

عندما تنمو البكتيريا بكميات كبيرة كما في البادئات . يمكن للاقم في مثل هذه الحالة أن يكون مفيداً في صناعة المنتجات المخمرة لأنه يمكنه قتل الأغلبية العظمى للبكتيريا التابعة لمجاله المضيف Host range of the phage .

1.3.13 تكوين وتركيب اللاقم *Phage Composition and Structure*

لاقمات البكتيريا أصغر من عوائلها ويمكن فصلها عنها بواسطة الترشيح خلال أغشية ذات ثقوب أحجامها 0.45 ميكرومتر . ويمكن رؤيتها فقط بالميكروسكوب الإليكتروني . يتكون جسم اللاقم من رأس وذيل (شكل 8.13) ، يحتوي كل منهما على بروتينات مختلفة . تكون رؤوس لاقمات بكتيريا حامض اللاكتيك دائرية أو مستطيلة في الشكل تتراوح أبعادها بين 40 و80 نانومتر . يتراوح طول الذيل بين 20 و500 نانومتر ، ويمكن أن يكون منقبضاً أو غير منقبض . ملامح أخرى هي وجود طوق Collar بين الرأس والذيل وصفيحة قاعدية واضحة عند نهاية الذيل ، تزود في بعض الأوقات بأطراف إضافية مثل الألياف أو الأشواك أو المهاميز .

يكون اللاقم أو الجينوم DNA موجوداً في الجزء الأمامي لرأس اللاقم يكون حجمه مميز للنوع ، ويتراح بين 2 و 13.10^4 زوج قاعدي ، تحتوي جميع لاقمات بكتيريا حامض اللاكتيك على جزيء خطي لشريط DNA مزدوج ، والذي يمكن أن يصبح دائرياً إذا احتوى *DNA* على نهاية لاصقة cohesive ends . يحتوي جينوم اللاقم على جينات مكودة لبروتينات تركيبية وإنزيم محلل يسبب تحلل جدار خلية العائل .

2.3.13 تضاعف اللاقم البكتيري *Phage Multiplication*

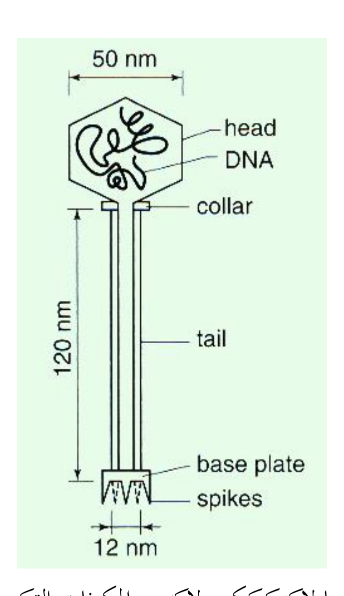
يمكن أن يحدث تضاعف اللاقم البكتيري بطريقتين : بواسطة دورة انحلالية Lytic cycle وبواسطة دورة حقن الجينوم Lysogenic . في الدورة الانحلالية ، يصيب اللاقم خلية العائل ويحللها ، بينما في دورة حقن جينوم لاقم داخل خلية العائل Lysogenic . تسمى هذه اللاقمات لاقمات خبيثة Virulent ولاقمات معتدلة temperate على التوالي .

1.2.3.13 الدورة الانحلالية ***Lytic cycle***

يؤدي تكاثر لاقم خبيث Virulent Phage في دورة انحلالية ، إلى تضـــاعف وانطلاق ذرية معدية جديدة ، وهناك عدة خطوات مميزة مستخدمة (شكل 9.13) .

1. ادمصاص اللاقم على العائل البكتيري Adsorption of the phage onto the bacterial host : الخطوة الأولى المستخدمة هي ادمصاص اللاقم على أماكن اتصال خاصة على سطح خلية العائل ، وهذا حدث عالي الخصـوصـية ، والذي يعتمد على وجود مسـتقبلات خاصـة باللاقم . اللاقمات المتشابهة (انظر النص السابق) يحدث لها ادمصاص على الخلية من خلال ذيولها . تعتمد فاعلية خطوة الادمصـــاص هذه على الظروف البيئية المحيطة ، لاقمات كثيرة تحتاج أيونات ثنائية التكافؤ ، وخاصـة أيونات الكالسـيوم Ca^{+2} التي تصبح متصـلة بالخلية ، وعلى ذلك يمكن أن يعتمد منع العدوى البكتيرية بواســـطة اللاقم على اســـتخدام العوامل المخلبية مثل EDTA ، والسترات ، والفوسفات ، والتي تقلل نشاط أيونات الكالسيوم بقوة .
2. حقن DNA الفاج Injection of Phage DNA : بعد ادمصاص الفاج على الخلية ، يحقن DNA الفاج من الرأس خلال الذيل داخل الخلية البكتيرية . وتبقى الرأس كشـــبح فارغ خارج الخلية .
3. نضـــج الفاج Phage maturation : منذ لحظة حقن DNA الفاج داخل الخلية البكتيرية ، فإن عمليات معقدة تغير أيض خلية العائل بطريقة ما تجعل تكوُّن الـــ DNA والبروتين للفاج فقط . الـ DNA يعبأ المخلق حديثاً في شكل مكثف داخل رأس الفاج المتجمعة ، وفي النهاية تظهر جزيئات الفاج الكاملة في النهاية .
4. تحلل خلية العائل Lysis of the host cell : تتم الدورة الانحلالية عندما تتحلل خلية العائل ، مطلقة جزيئات الفاج الجديدة داخل الوسـط . يحدث التحلل بواســطة إنزيمات تحلل تســمى ليزين Lysin والتي تكود على جينوم الفاج . ويســمى ســط الفاج الغني محلل اللاقم Phage lysate ، بالإضـــافة إلى ذلك ، تعرف بعض لاقمات بكتيريا اللاكتوكوككس بأنها

تســبب إنتاج ليزين مركز ، تنتهي هذه الزيادة من الليزين في محلل الفاج ويمكن أن تحطم جدر خلايا الخلايا الأخرى ، حتى للخلايا التي لا تتبع مجال عائل الفاج ، والذي يســمى تحللاً من لا شيء Lysis from without .



شكل 8.13 رسم تخطيطي للاقم بكتيريا لاكتوكوكس لاكتيس المكونات التركيبية الهامة للاقم تم توضيحها

Figure 13.8 Schematic drawing of a bacteriophage of *Lactococcus lactis*. The important structural components of the phage are indicated. (Adapted from H. Neve. In: T.M. Cogan and J.-P. Accolas, Eds., *Dairy Starter Cultures*, VCH Publishers, Cambridge, U.K., 1996)

2.2.3.13 نمو اللاقمات الخبيثة *Growth of Virulent phages*

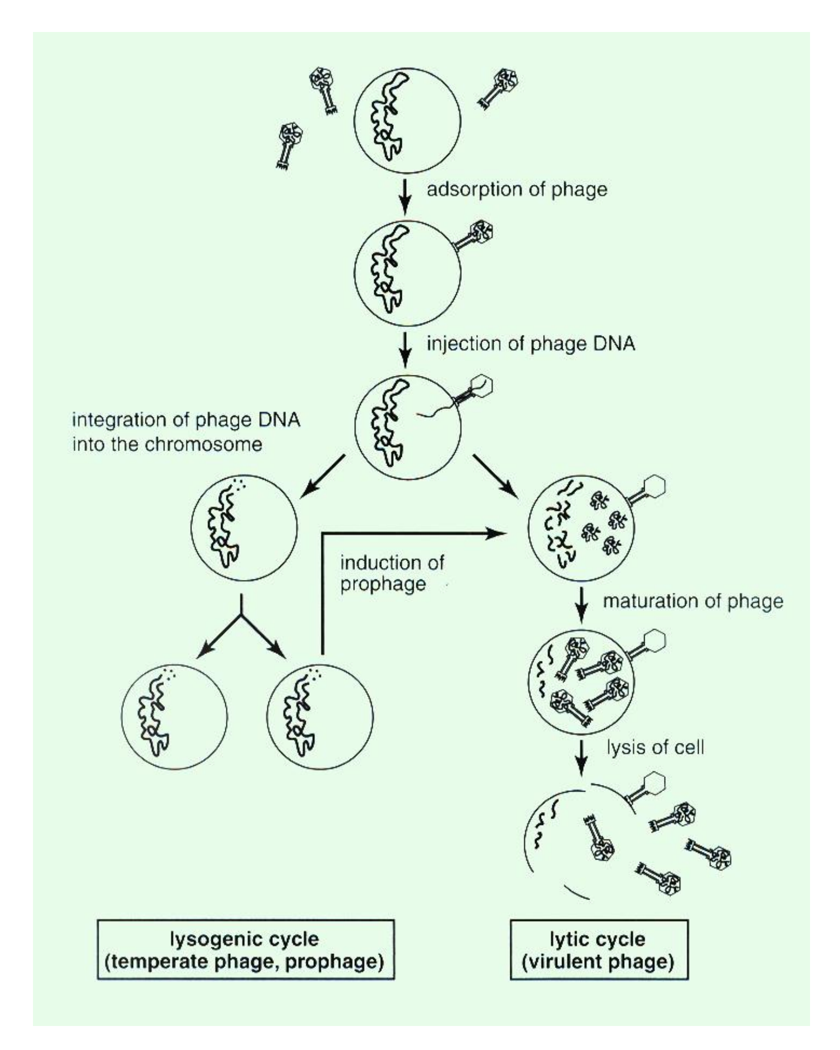
يكون النمو التحللي للفاج الخبيث على عائل حســـاس معتمداً على كل جهاز عائل – ويتميز اللاقم بواســطة كل من فترة الكمون وحجم الانفجار Burst size ، والتي تحدد في تجربة نمو خطوة واحدة (شــكل 10.13) . إلى هذه النهاية خلايا العائل تختلط الفاج في نســبة معينة لدرجة أن تكرار العدوى تكون أقل من واحد ، يقتضــي هذا أن خلية واحدة

تتعرض للاقم واحد على الأقل . تم حصر عدد جزيئات اللاقمات المعدية على فترات أثناء عملية التحضين ، في الفترة الأولى يظل أعداد اللاقمات منخفضاً وثابتاً لأن اللاقمات الجديدة تم تخليقها داخل الخلية البكتيرية . وهذا يسمى بفترة الحضانة . تبدأ هذه الفترة من الادمصاص الأول إلى تحديد ذرية اللاقم بعد تحلل الخلية البكتيرية . زيادة مفاجئة في كمية اللاقم ، لعدد يسمى حجم الانفجار ، يحدث بعد تحلل خلايا العائل نتيجة لفعل ليزين اللاقم Phage lysine .

في لاقمات بكتيريا لاكتوكوكال lactococcal تتراوح فترة الكمون بين 10 إلى 140 دقيقة وحجم الانفجار . يحدث ويختلف من 10 إلى 300 لاقم ، يكون تكاثر اللاقمات في مزرعة نامية من بكتيريا اللاكتوكوكي lactococci سريعاً جداً ويكون نموه أكثر من نموالبكتيريا ، وبافتراض أن فترة الكمون هي 60 دقيقة وحجم الانفجار لـ 150 لاقم ، سوف يُنتج لاقم واحد ذرية عددها 22500 لاقم (150×150) بعد ساعتين ، إذا كان كل لاقم عنده بكتيريا واحدة تحت تصرفه ، ففي ظرف ثلاث ساعات سوف يصبح عدد اللاقمات في حدود 34.10^6 .

وبالأخذ في الاعتبار أن وقت الجيل لخلايا بكتيريا لاكتوكوككس هو 60 دقيقة ، فإن خلية واحدة سوف تنتج فقط 8 خلايا جديدة في هذه الثلاث ساعات . وعلى ذلك فإن اللاقمات سوف يتعدى عددها عدد الخلايا البكتيرية . ويوضح هذا بجلاء المشاكل الخطيرة التي تحدث بعد عدوى تخمر اللاكتوكوكال باللاقم البكتيري .

أعداد اللاقم في العينة يمكن تقديرها بواسطة عمل تجربة الأقراص Plaque assay ، في هذه التجربة يتم خلط تخفيفات متتالية لمعلق اللاقم مع كثير من الخلايا البكتيرية الحساسة للاقم في آجار رقيق منصهر (0.7%) عند درجة حرارة 45 درجة مئوية ، ويصب الخليط فوق آجار سابق التصلب في طبق بتري . بعد حضانة عند درجة حرارة مثلى للعائل لمدة 8 ساعات ، يمكن رؤية هالات واضحة تسمى أقراص في مزرعة النمو البكتيري ، وهذا راجع إلى تكاثر وانتشار



شكل 9.13 رسم توضيحي لتكاثر اللاقم الخبيث (الفرع الأيمن) واللاقم المعتدل (الفرع الأيسر) في خلية العائل ، الخلية رسمت بـDNA كروموسوماتها . DNA اللاقم تم توضيحه بخطوط منقطة

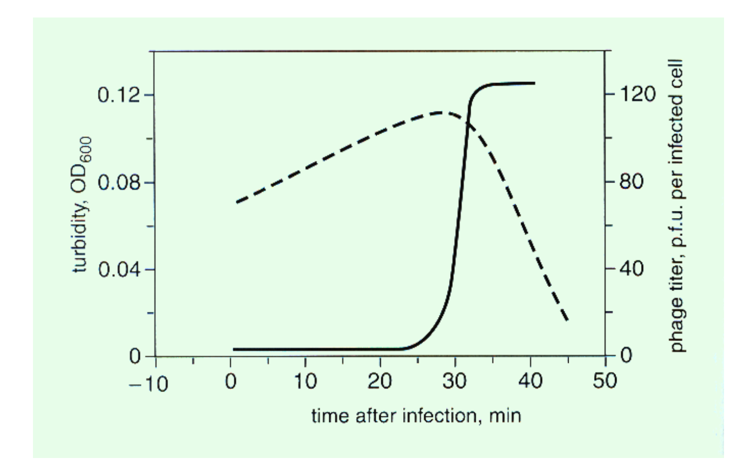
Figure 13.9 Schematic drawing of the propagation of virulent (right branch) and temperate (left branch) bacteriophage in a host cell. The cell is shown with its chromosomal DNA. The phage DNA is indicated by dotted lines. (Adapted from H. Neve. In: T.M. Cogan and J.-P. Accolas, Eds., *Dairy Starter Cultures*, VCH Publishers, Cambridge, U.K., 1996)

جزيئات اللاقم خلال الآجار وحول خلايا العائل المصاب ، يمكن رؤية مساحة مخلفة محددة من الخلايا البكتيرية المحللة Visibly distint area of lysis . كل قرص يعتبر أن سبب ظهوره لاقم بكتيري واحد ، وبعد عدد الأقراص وضربها في عامل التخفيف نحصل على عدد اللاقمات البكتيرية في العينة .

3.2.3.13 الدورة المحللة للجينات *Lysogenic cycle*

هذه الدورة هي طريقة بديلة لتكاثر اللاقمات (شكل 9.13) . يحدث ادمصاص وحقن الـ *DNA* كما هو الحال في الدورة الانحلالية ، ولكن بدلاً من تكاثر اللاقم ، فإن DNA اللاقم يتم إدخاله داخل كروموسوم البكتيريا . ويحدث إعادة الاتحاد The recombination even عند منطقة خاصة متشابهة بين DNA اللاقم و DNA الخلية البكتيرية المضيفة . DNA اللاقم يتضاعف يتزامن مع الـ DNA البكتيري مؤدياً إلى ظهور ذرية للخلية المحللة جينياً . يسمى اللاقم المعتدل في هذه الحالات temprate phage (prophage) . أغلبية بكتيريا حامض اللاكتيك لها دورة محللة للجينات . وفي هذه الحالة تكون الخلايا قد اكتسبت مناعة ضد لاقمها أو اللاقمات ذات صلة القرابة بها . يمكن أن تكون الخلية البكتيرية حاملة لأكثر من لاقم وعلى تكون مقاومة لعدة لاقمات .

يمكن أن يزيد استئصال اللاقم Excision اللاقم المعتدل من كروموسومات العائل من ضراوة اللاقم وتكاثره (شكل 9.13) . ويمكن أن يحدث هذا تلقائياً أو بواسطة الأشعة فوق البنفسجية أو بالمعاملة بعوامل مسرطنة مثل الميتوميسين Mitomycin C . سوف يظل عدد اللاقمات الحرة في مزرعة بكتيريا محللة للجينات عادة صغيراً ، لأن اللاقمات المعتدلة المنطلقة من خلية العائل لا تستطيع أن تتكاثر كلاقم خبيث في الخلايا البكتيرية الممنعة . يمكن فقط تحديد اللاقمات الحرة باستخدام سلالة حساسة تسمى سلالة كاشفة Indicatior strain .



شكل 10.13 نتائج تجربة النمو بخطوة واحدة لبكتيريا لاكتوكوكس لاكتيس مصابة بلاقم محلل ، انطلاق ذرية اللاقم تبدأ بعد 25 دقيقة (فترة الكمون) بعد الإصابة (حجم الانفجار 124) زيادة كمية اللاقمات الحرة (p.f.u = وحدات الأقراص المتكونة ، الخطوط الكاملة) يصاحبها انخفاض في عكارة المزرعة (الخطوط المتقطعة) نتيجة لتحلل الخلايا البكتيرية

Figure 13.10 Results of a one-step growth experiment on *Lactococcus lactis* infected with a lytic phage. The release of progeny phage begins 25 min (latent period) after infection (burst size: 124). The increase in free phage quantity (p.f.u. = plaque-forming units, full line) is accompanied by a decrease in culture turbidity (broken line) due to cell lysis. (Adapted from I.B. Powell and B.E. Davidson, *J. Gen. Virology*, 66, 2737-2741, 1985)

4.2.3.13 التحلل الجيني الكاذب *Pseudolysogeny*

تصاب مزارع بادئ لكثير من السلالات المختلطة (انظر فصل 4.13) على الدوام بعدد منخفض من اللاقمات الخبيثة ، تسمى هذه لاقمات خاصة Own phages للتفريق بينها وبين اللاقمات المزعجة Disturbing phages والتي تتضاعف بأعداد محدودة لخلايا حساسة للاقم ، والتي تكون غير حساسة للاقم Phage-insensitive . تسهم مراحل حمل اللاقم الحادة للمزرعة The chronic phage-Carrying stage بشكل معنوي في عدم الحساسية للاقم البكتيري ، تسمى الظاهرة التحلل الجيني الكاذب . تستمر المزرعة في النمو بشكل طبيعي طالما لم يكن هناك إصابة بلاقمات مزعجة .

3.3.13 ميكانيكيات مقاومة اللاقمات البكتيرية

قد كونت البكتيريا طرقاً لمقاومة عدة لاقمات بمرور الوقت . تثبيط ادمصـــاص اللاقم، القطع ، أجهزة التحور وإجهاض ميكانيكيات العدوى توجد في بكتيريا حامض اللاكتيك (شـكل 11.13) . تكون كل هذه الميكانيكيات مكودة على البلازميد Plasmids . الدورة المحللة للجينات (تحت فصل 3.2.3.13) تكون أيضاً شكل من أشكال عدم الحساسية (مقاومة) للاقم البكتيري .

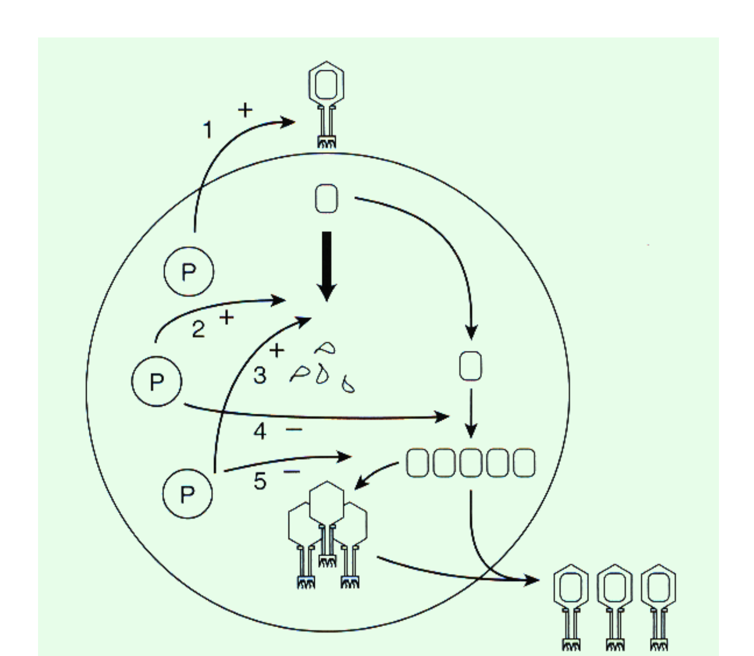
تثبيط الادمصاص *Adsorption inhibition*

يتم في تثبيط الادمصـاص ، إخفاء أماكن اسـتقبال اللاقم على سـطح الخلية ، لدرجة أن اللاقم لا يســتطيع الالتصـــاق والاتصـــال مع الخلية ، وعلى ذلك لا يبدأ دورته المحللة في بعض ســلالات بكتيريا *Lactococcus lactis ssp. Cremoris* أداة الإخفاء تم تعريفها على أنها بوليمرات تحتوي على رامنوز و / أو جلاكتوز ، والتي يكون تخليقهمـا البيولوجي مكوداً على البلازميد .

أنظمة القطع / التحور *Restriction / modification systems*

تتم عمليات القطع / التحور بواســطة إنزيمين ، أولهما هو إنزيم القطع Restriction enzyme الذي يحلل DNA اللاقم . والإنزيم الآخر هو إنزيم التحور Modification enzyme الـذي يحور DNA العـائـل ، وبـذلـك تتم مقـاومـة فعـل إنزيم القطع ، عـادة DNA العائل ، يتم تحويره بواســطة إضـــافة مجموعة ميثيل Methylation لبعض من قواعد الأحماض النووية . تكون عملية الدفاع هذه نشطة فقط بعد ادمصاص اللاقم وحقن الــ DNA الخاص به .

هناك عدة نظم إنزيمات قطع/تحور مكودة على البلازميد تم التعرف عليها وتمييزها في نوع البكتيريا لاكتوكوكس لاكتيس .



شـــكل 11.13 ميكانيكيات مقاومة اللاقم البكتيري المكود على البلازميد في بكتيريا لاكتوكوككس لاكتس (1) تثبيط الادمصاص (2) و(3) القطع/أجهزة التحور ، (4) إجهاض ميكانيكيات العدوى ، والتي تؤثر على تخليق بروتينات اللاقم . P = بلازميد + = الخلايا الحية ، – = الخلايا الميتة

Figure 13.11 Plasmid-coded phage resistance mechanisms in *Lactococus lactis*. (1) Adsorption inhibition; (2) and (3) restriction/modification systems; (4) abortive infection mechanism, which interferes with phage DNA replication; (5) abortive infection mechanism, which affects phage protein synthesis. P = plasmid; + = cells survive; - = cells die. (Adapted from G.F. Fitzgerald and C. Hill. In: T.M. Cogan and J.-P. Accolas, Eds., *Dairy Starter Cultures*, VCH Publishers, Cambridge, U.K., 1996)

إجهاض العدوى Abortive infection إجهاض العدوى هو المصطلح المستخدم لعمليات مقاومة اللاقم والتي لا ترجع إلى عملية تثبيط الادمصاص والقطع/التحور .

وجود عملية إجهاض للعدوى الناتجة عن فقد كلي لتكوين الأقراص أو على الأقل لانخفاض في حجم القرص . وهذا راجع لانخفاض في حجم الانفجار Burst size

وفي حالات كثيرة إطالة فترة الكمون . إجهاض العدوى عادة ما تؤدي إلى موت الخلايا المصابة . تم التعرف على وجود ميكانيكيات إجهاض عدوى مختلفة عديدة لسلالات بكتيريا لاكتوكوككال Lactococcal . إن الميكانيكيات عادة ما تؤسس على تثبيط تضاعف DNA اللاقم أو كبح تخليق البروتين التركيبي للاقم . توجد جينات إجهاض العدوى في البلازميدات .

تحسين مقاومة البكتيريا للاقم *Improvement of phage resistance*

أغلبية ميكانيكيات مقاومة البكتيريا لاكتوكوككي للاقم تكون مكودة على البلازميد ، وتكون كثير من هذه البلازميدات مقترنة Conjugative (تحت فصل 3.1.13) هذه الحقيقة تم استخدامها لتحسين مقاومة اللاقم في مزارع البادئ الحساسة للاقمات . تم تطوير تقنيات زراعة معينة لاختيار سلالات مقاومة لأكثر من لاقم ، والتي فيها ينتمي البلازميد المقاوم resistance plasmid في مزارع البادئات الحساسة للاقم . استخدمت هذه التقنية بنجاح في إنتاج سلالات مقاومة للاقم للاستخدام التجاري .

4.3.13 التثبيط *Inactivation*

يمكن أيضاً استخدام عمليات مألوفة لتدمير الكائنات الدقيقة (شاملة المعاملة بالحرارة ، التطهير ، استخدام أشعة جاما والأشعة فوق البنفسجية) في تثبيط اللاقمات أي تحطيم قدرتهم على العدوى . يحدد نوع اللاقم ومكونات وسط الزراعة مقاومة اللاقمات للحرارة . يكون التثبيط أسرع في الماء النقي ويكون بطيئاً في وجود البروتينات والأملاح ، خاصة الكالسيوم والماغنسيوم . تتحمل لاقمات عديدة لبكتيريا حامض اللاكتيك البسترة المنخفضة للبن أي لمدة 15 ثانية عند درجة حرارة 72 درجة مئوية . تحتاج تثبيط أغلب اللاقمات المقاومة للحرارة معاملة حرارية لمدة دقيقة واحدة عند درجة 95 مئوية .

هنـاك أيضـــاً عـدة مواد مطهرة تثبط اللاقمـات : فتركيز الكلورين المتـاح ، درجـة الحرارة ، مدة الملامسـة Contact time ، وتحدد نوع سـلالة اللاقم كفاءة التطهير . كثير من المواد القاتلة للبكتيريا ليس لها تأثير على تثبيط اللاقم ، وهذا يشمل :

- السموم الأيضية ، ليس للاقم أيض phages have no metabolism .
- مذيبات الدهن مثل الإثير والكلوروفورم ، لا تحتوي أغلب اللاقمات على دهون .
- المضادات الحيوية Antibiotics .

4.13 جوانب بيئية *Ecological Aspects*

تبدي الكائنات الدقيقة دائماً تداخلات بين بعضـــها البعض ومع الوســط المحيط بها ، والذي يشـــمل بيئتها . المنتجات اللبنية المخمرة وبالتالي بادئات التخمرات التكتيكية (انظر فصـل 5.13) والتي تحتوي دائماً على مخلوط من بكتيريا حـامض اللاكتيـك وكـائنـات دقيقـة أخرى هـذه يمكن أن تكون المخاليط معقدة ومتغيرة في مكوناتها نتيجة لوجود عدة أنواع من التداخلات بين الأنواع والتحت أنواع وسـلالات بكتيريا حامض اللاكتيك الموجودة . بادئات الجبن غالباً ما تحتوي على مخلوط من ســلالات من الأنواع لاكتوكوككس *Lactococcus* . وليكونوســتوك *Leuconostoc* ، بينمـا نحتـاج لإنتـاج الزبـادي ، إلى مخلوط من البكتيريـا المحبـة للحرارة مثـل ستريبتوكوككي *Streptococci* ولاكتوباسيللي *lactobacilli* .

ويمكن أن تحدث انحرافات في العشيرة في المخاليط ، ولكي نضمن ونضبط عملية التخمر ونوعية المنتجات المخمرة ، يكون المطلوب بادئاً ذا مكونات ثـابتة ، وهـذا يعني أن عـدم الثبـات محتمل . هناك علاقات نمو متبادل مختلفة بين البكتيريا بوجه عام وبين بكتيريا حـامض اللاكتيك على وجه الخصوص .

1. كائن حي يعزز نمو كائن آخر دون أن يســتفيد هو نفســه ، وهذا يشـــار إليه بالمعايشـــة Commensalisms مثال ذلك هو وجود Prt^+ لاكتوكوككي التي تمكن نمو المتغيرات Prt^- في اللبن ، كما ذكر في تحت فصـــل 6.2.1.13 . عندما يمكن لكائنات أن تنمو دون الاعتماد

على غيرها ولكنها تفعل ذلك بصورة أفضل عندما توجد معاً ، وهذا ما يسمى بتبادل المنفعة Mutualism . مثال جيد هو تحفيز النمو المتبادل للبكتيريا ستريبتوكوككس ثيرموفيليس واللاكتوباسيلس ديلبريكي ssp بيلجاريس في الزبادي (تحت فصل 1.4.22) . مثال آخر هو نمو البكتيريا ليكونوستوك ميزينتيرويدس ssp سريموريس في زراعة مختلطة . ليكونوستوك لاكتيس لا يشبه سلالات كثيرة ، الليوكونوستوك الأول (Prt^-) تنمو في اللبن ولكن يبدي نمواً مرضياً في الزراعة مع Prt^+ لاكتوكوككي وبالعكس ، ليوكونوستوك ميزينتيرويديس ssp سريموريس تثبط نمو البكتيريا لاكتوكوككي بواسطة إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون .

2. أثناء نمو مستعمرة مختلطة ، هناك تنافس ثابت على المواد الغذائية ، وخاصة إذا كان تركيزها محدداً للنمو . في اللبن هذه هي حالة الأحماض الأمينية الحرة . فيتامينات B وبعض العناصر الضرورية الموجودة بكميات ضئيلة مثل أيون Mn^{+2} . السلالات البكتيرية التي لها القدرة العالية للاتحاد مع هذه المواد الغذائية المحددة يمكن أن تفضل أثناء نموها في اللبن . وعلى ذلك فهي تتنافس بنجاح ضد الآخرين ، والذي يؤدي بالتالي إلى انحراف في مكونات العشيرة (انظر تحت فصل 3.5.13) .
3. يمكن أن تنتج بكتيريا حامض الخليك مثبطات حساسة لبعض السلالات في العشيرة . الأحماض غير المفككة مثل حامض اللاكتيك ، وحامض الأسيتيك وحامض الفورميك المتكون أثناء أيض السكريات ، يتبع لهذه المثبطات المحتملة التي يمكن أن تبطئ نمو بعض السلالات الحساسة للحامض في العشيرة . مثبط محتمل آخر هو فوق أكسيد الهيدروجين المتكون أثناء أكسدة NADH بواسطة الفلافوبروتينات (تحت فصل 2.2.1.13) . تنتج بعض السلالات البكتريوسينات (تحت فصل 4.1.13) التي لها تأثير مثبط متخصص على بعض أعضاء من العشيرة ، وعلى ذلك تحور مكوناتها .
4. تتكون العشيرة عادة ، من أنواع عديدة من بكتيريا غير ثابتة جينياً . يمكن أن تظهر الطفرات التي تغير الخواص عن طريق طفرات كروموسومية أو فقد للبلازميدات . خاصة تحت ظروف بيئية يكون للطفرة ميزة للنمو أكبر من السلالة الأصلية ، وهذا سوف يسبب تغيرات قاسية في مكونات المستعمرة . وجود المضادات الحيوية يمكن أن يكون في صالح نمو السلالة المطفورة

المقاومة للمضاد الحيوي ، يمكن أن يؤدي الإصابة بلاقمات البكتيريا إلى ظهور سلالة طافرة مقاومة للاقمات البكتيريا (تحت فصل 3.3.13) .

أيضاً وجود اللاقمات البكتيرية المعتدلة Temperate في بكتيريا محللة للجينات Lysogenic bacteria (تحت فصل 3.2.3.13) يشكل عدم ثبات جيني محتمل لأن هذه اللاقمات يمكن أن تصبح خبيثة Virulent ، وبعد الإطلاق تتكاثر لسلالات حساسة ، والتي تؤدي لانحراف في مكونات العشيرة .

يمكن أن تعتبر بكتيريا حامض اللاكتيك ككائنات دقيقة في جهاز بيئي كاللبن ، تحدد الظروف البيئية (وخاصة درجة الحرارة) والتداخلات المتبادلة بين بكتيريا حامض اللاكتيك ، كيف تتكون عشائرها في اللبن . في تحت فصل 3.5.13 تؤثر عوامل هامة في انحراف فلورا مخلوط معين لبادئات البكتيريا تم مناقشتها .

5.13 البادئات *Starters*

البادئ هو مزرعة لنوع واحد أو أكثر أو سلالات من بكتيريا حامض اللاكتيك والتي تضاف إلى اللبن لتخميره . يحتوي البادئ في بعض الأحيان أيضاً على بكتيريا غير لاكتيكية ، بينما تضاف البكتيريا الأخيرة في بعض الحالات منفصلة إلى اللبن .

تقليدياً يتم الحصول على البادئ عن طريق نمو بكتيريا حامض اللاكتيك في اللبن عند درجة حرارة مناسبة . يحتفظ بالبادئ بواسطة تكاثره ونموه في جزء طازج للبن . في الوقت الحاضر تستخدم أوساط نمو خاصة غير اللبن لتجنب تكاثر لاقمات البكتيريا أثناء تصنيع البادئ (انظر تحت فصل 5.5.13) .

1.5.13 المكونات *Composition*

يعطي الجدول 4.13 حصراً لمكونات البادئ كما هو مستخدم في تصنيع بعض المنتجات اللبنية المخمرة ، وعلى أساس مكوناتها يمكن للبادئات أن تقسم كالآتي :

1. سلالة واحدة : يتكون كل بادئ من زراعة سلالة واحدة نقية .
2. سلالات متعددة ، وهي تتكون من مخلوط معروف من زراعات نقية لأقل من ست سلالات لأنواع مختلفة من البكتيريا أو سلالات مختلفة لنوع واحد . يمكن أن تتغير أحوال كل سلالة مستخدمة.
3. سلالات مختلطة : هذه بادئات طبيعية تتكون من مخلوط غير معرف لسلالات بكتيرية من أنواع مختلفة . تكون مكونات هذا النوع من البادئ مؤسسة على توازن ديناميكي بين بكتيريا البادئ المختلفة . ويمكن أن تتغير بصورة محسوسة أثناء الاستخدام (انظر فصل 4.13) .

في البادئات المحبة للحرارة المتوسطة (جدول 4.13) ، يتكون بادئ السلالة الواحدة من سلالة لاكتوكوككس لاكتيس ssp سريموريس أو أقل انتشاراً ، سلالة لاكتوكوككس لاكتيس ssp لاكتيس أو متغيرها البيولوجي داي أسيتيلاكتيس . تحتوي مزراع السلالات المتعددة على سلالات لاكتوكوككس لاكتيس ssp سريموريس ولاكتيس ، عادة مجموعة مع داي اسيتيلاكتيس أو مع ليكونوستوك سريموريس وليكونوستوك لاكتيس ، المزارع المختلطة تم وضعها في مجموعات مثل DL ‏O , L , D‏ و . تعني المجموعة L ليكونوستوك وتعني D أن داي اسيتلاكتيس تكون موجودة ، في النوع O لا يوجد أي من هاتين المجموعتين ، و DL يعني أن المجموعتين موجودتان .

تتكون أغلب البادئات المحبة للحرارة المرتفعة من كائنين ، ستريبتوكوككس ثيرموفيليس وأي من لاكتوباسيللس هيلفيتيكس *Lactobacillus helveticus* ، *Lb. delbrueckii ssp.* *Lactis* أو Lb. delbrueckii ssp. Bulgaricus لتصنيع الجبن مثل أميتالو Emmentaler (جدول 4.13) . تنمو هذه الكائنات الحية عادة منفردة ، ولكنها تنمو معاً لإنتاج الزبادي لكي نستفيد من تحفيز نموها المتبادل (فصل 4.13) وهي تشبه مزارع البكتيريا المحبة للحرارة المتوسطة المختلطة ، حيث تحتوي المزارع المحبة للحرارة المرتفعة المختلطة على عدة سلالات من كل نوع . تحتوي بعض الألبان المخمرة مثل كيفير kefir وكيميس kumiss (فصل 2.22) . على خليط من بكتيريا حامض اللاكتيك والتخمر الكحولي . الأنواع المختلفة لبكتيريا حامض اللاكتيك والخمائر

المسببة لتخمر اللاكتوز يتم اشتمالها . توجد بجانب بكتيريا حامض اللاكتيك أيضاً بعض الكائنات المستخدمة في تصنيع أنواع جبن معينة (فصل 27) أمثلة ذلك هي بكتيريا حامض البروبيونيك في تصنيع جبن إيمينتالر Emmentaler و brevibacteria وبعض بكتيريا coryneforms في تصنيع أجبان السطح الناضج surface-ripened cheeses وأعفان مثل فلور السطح أو فلورا الداخل للأجبان الطرية .

تؤثر بكتيريا البادئ كثيراً على خواص المنتج النهائي . وبسبب ذلك يركز مصنعوا الألبان بشكل متزايد على :

1. اختيار سلالة بكتيرية لها خواص مرغوب فيها .
2. تكوين بادئات باستخدام سلالات مناسبة بنسب صحيحة .

المحافظة على مكونات البادئ . وبعمل ذلك يمكن تطوير منتجات جديدة ، والوصول إلى عمليات تصنيع مثلى وتحسين خواص المنتج .

2.5.13 خواص *Properties*

يسبب التحويل البيوكيميائي لمكونات اللبن بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك ، تغيرات في المنتجات المخمرة ، تعتمد هذه التغيرات على خواص البادئ المستعمل (جدول 4.13) وعلى نوع المنتج . واحد من الجوانب الرئيسية هو إنتاج الحامض خاصة حامض اللاكتيك من اللاكتوز ، الذي يؤثر على عملية حفظ وقوام ونكهة المنتج . أيضاً تتكون مركبات أخرى أثناء تخمر اللاكتوز وحامض الستريك ، مثل الداي أسيتيل وثاني أكسيد الكربون والسكريات العديدة الخارجية التي تؤثر على النكهة والقوام وتماسك المنتج على التوالي . وفي النهاية تحلل البروتين والدهن يحدث تغيرات بيوكيميائية أساسية بواسطة كائنات البادئ ، والتي تضيف إلى نكهة وقوام المنتج وخاصة الجبن جوانب أساسية للنشاط الأيضي لبكتيريا البادئ تم ذكرها في تحت فصل 2.1.13 وخواص المنتج المخمر سيتم مناقشتها في الفصول 18 و 22 و 24 و 25 .

جدول 4.13 كائنات حية موجودة في أنواع مختلفة لبادئات واستخدامها في صناعة المنتجات اللبنية المخمرة

Table 13.4 Organisms Present in Various Types of Starter and Their Use in the Manufacture of Fermented Milk Products

بكتيريا محبة للحرارة العالية Thermophilic		بكتيريا محبة للحرارة المتوسطة Mesophilice				
في الألبان الحامضة In soured milks	في الجبن In cheese	غير عطرية		عطرية		
		O	D	DL	L	**Organism الكائن الحي**
		+	+	+	+	*Lactococcus* لاكتوكوككس لاكتيس *lactis ssp lactis*
		+	+	+	+	لاكتوكوككس لاكتيس *Lactococcus lactis ssp. Cremoris*
			+	+		لاكتوكوككس لاكتيس *Lactococcus lactis ssp. Lactis bioyar diacetylactis*
				+	+	*Leuconostic* ليكونوستوك سويموريس *cremoris Leuconostic lactis*
+	+					*Strepto coccus* ستربتوكوككس *thermophilus*
+	+					*Lactobacillus* لاكتوباسيللس *delbrueckii ssp bulgaricus*
	+					لاكتوباسيللس هيلفيتيكيس *Lactobacillus hlveticus*
[a]+						لاكتوباسيللس اسيدوفيليس *Lactobacillus acidophilus*
						Applied in مستخدمة في الزبد
				+	+	Butter
				+	+	Cultured buttermilk
				+	+	Sour cream
+						Yogurt زبادي
		[6]+		+	+	Fresh cheese جبن طازج

جبن نوع جودة Guda-type cheese	+	+	+		
جبين نوع شيدر Chedder type cheese[c]				+	+
جبين نوع إيمنتال Emmentaler[d]					+

a لبعض أنواع اللبن المحمض ولبعض أنواع من الزبادي الخاص (انظر فصل 2.22) .

b تستخدم في تصنيع الجبن كوتاج Cottage cheese (انظر فصل 2.2.27) .

c جبن تكون فيه العيون غائبة (blind cheese) .

d وأنواع جبن أخرى وفيها تستخدم درجات حرارة عالية أثناء التصنيع .

a. Only for acidophilus milk and for some types of special yogurt (see Section 22.2).
b. Used in the manufacture of cottage cheese (see Subsection 27.2.2).
c. Cheese from which eyes are absent (blind cheese).
d. And other cheese varieties in which high temperatures are applied during manufacture.

وعلى ذلك فالتحويل البيوكيميائي بواســطة بكتيريا حامض اللاكتيك تحدد بقوة فترة العمر ، الأمان، تماسك وتكون النكهة وقوام المنتجات اللبنية المخمرة . بالإضـافة إلى ذلك ، فهي يمكن أن تؤثر على القيمة الغذائية (انظر تحت فصـــل 2.5.22 وفصـــل 8.25) . تحدد خواص الســـلالات والأنواع البكتيرية الموجودة في البادئ إلى أي مدى يســاهم البادئ لأي من المنتجات المختلفة المذكورة . وبمعنى آخر يجب أن يؤســس اختيار البادئ على الخواص المرغوبة في المنتج المراد تصنيعه .

3.5.13 انحرافات في الفلورا *Shifts in Flora*

يجب أن تكون خواص منتجات اللبن المخمر ثابتة ومتوازنة . ولكي نحقق هذا الشـــرط، فيجب استخدام بادئات ذات نشاط ثابت . وبمعنى آخر لا يجب أن تتغير النسب بين أعداد أنواع أو الســـلالات البكتيرية المختلفة في البادئ والخواص الجينية لها . تأمين خواص بكتيرية ثابتة ليس

عملاً سهلاً وخاصة في بادئات ذات سلالات مختلطة (انظر فصل 4.13) . يمكن أن تكون عوامل عديدة مسئولة عن انحرافات في العشيرة البكتيرية عندما ينمى البادئ بطريقة تقليدية أهمها هي :

1. عوامل تخص تركيب الوسط (انظر أيضاً تحت فصل 6.1.5) وتشمل :

أ- وجود مركبات تثبط أو تمنع نمو سلالات أو أنواع البكتيريا في اللبن ويمكن التعرف على :

- مثبطات طبيعية خاصة الأجلوتينات واللاكتوبيروكسيديز نظام – $CNS\text{-}H_2O_2$– (انظر تحت فصل 3.4.2 و2.5.2) . تعتمد تركيزاتها بشدة على المعاملة الحرارية للبن . وهذا تم مناقشته في فصل 7 .
- مثبطات ناتجة عن التلوث ، مثل المضادات الحيوية والمطهرات .
- مثبطات تتكون بواسطة بعض السلالات مثل فوق أكسيد الهيدروجين ومركبات مثل نيسين nisin ، وبعض الباكتيريوسين والذي يمكن أن يبدي فعل المضادات الحيوية ضد بعض السلالات في البادئ (تحت فصل 4.1.13) .
- أحماض دهنية حرة . تركيزات منخفضة للغاية لأحماض دهنية منخفضة الكتلة المولارية -C_4) وحامض الأوليك يمكن أن تبطئ نمو بعض السلالات . (C_{12}

ب- تركيز ثاني أكسيد الكربون وبعض المواد المحفزة للنمو التي تتكون أثناء المعاملة الحرارية للبن.

ج- تركيز العناصر النادرة من المواد ذات الأهمية القصوى للنمو هي ، Fe^{+2} ، Mg^{+2} ، Se^{+2} وMn^{+2} محتوى المنجنيز يحدد نمو الليكونوستوك سريموريس *Leuconostoc cremoris* . ينمو الكائن الحي ببطء عند محتوى منخفض للمنجنيز والذي يمكن أن يسبب تحول البادئ من النوع DL إلى النوع D ، وينعكس الوضع عند محتوى عالي للمنجنيز ، أي بادئ من النوع DL يمكن أن يتحول إلى النوع L .

د- تركيز الأكسجين : تكون التركيزات الزائدة سامة للنمو ، يختلف التأثير على النمو عند تركيزات أقل ويعتمد على السلالة البكتيرية المستخدمة (انظر فصل 1.13) .

2. تلوث اللبن بواسطة :

أ- اللاقمات البكتيرية . يمكن أن تقلب اللاقمات تركيب مزرعة البادئ بشـــدة أو تحطم البادئ (انظر فصل 3.13 وتحت فصل 5.5.13) .

ب- بكتيريا حامض اللاكتيك أخرى أو كائنات دقيقة .

3. يمكن أن تظهر طفرات مغيرة للخواص ، بسبب فقد الخواص المكودة على البلازميد . يمكن أن تؤدي الطفرة أيضاً إلى سلالات ذات معدل إنتاج حامضي مرتفع .

4. يمكن أن يســبب تحفيز نمو بكتيريا البادئ تغيرات كبيرة في نســبة أعداد الســلالات البكتيرية المختلفة (انظر فصل 4.13 وتحت فصل 1.1.4.22) .

5. ظروف تحضين بادئ أهمها هو :

أ- درجة حرارة التحضين . التعادل بين سلالات البكتيريا في المزرعة تحدد بواسطة معدل النمو النسبي أو بواسطة تواجدها عند درجة حرارة التحضين .

ب- نســبة الحقن ، يمكن أن يكون لهذا العامل تأثير على تركيبة الفلورا كما يتضــح بوضـــوح لبكتيريا الزبادي (تحت فصل 1.1.4.22) .

ج- مرحلة نمو البادئ عند وقت الاســتخدام أثناء تكاثر البادئ ، نســـبة أعداد الســـلالات البكتيرية تحافظ على تغيرها . يتم تحديد مكونات مزرعة البادئ في كل حالة بواسطة :

- معدل نمو أي من السلالات التي تتحدد بواسطة الخواص الجينية وظروف النمو ، انظر النقاط التالية .
- الحساسية المختلفة للسلالات للأس الهيدروجيني والمواد الأيضية —حامض اللاكتيك خصوصاً يســبب بطء نمو الســلالات المختلفة إلى حد ما . تموت البكتيريا عندما يحضــن البادئ لمدة طويلة (محتوى حامض لكتيك عالي ، أس هيدروجيني منخفض ، ... الخ) يتجدد تركيب البادئ بصورة متزايدة بواسطة طول بقاء السلالات .

تكون عدد من العوامل المذكورة في غاية الأهمية إذا كانت المزارع النقية تستخدم في تكاثر البادئات .

لا يكفي بادئ له تركيب أمثل لضبط العملية بشكل مرضي . إن معدل ثابت لإنتاج الحامض يوماً بعد يوم يكون هاماً ، يحدد معدل إنتاج الحامض بواسطة نوع والخصائص الجينية للبادئ البكتيري (يمكن أن تستخدم سلالات سريعة أو بطيئة) وبواسطة نسبة الحقن التي يمكن أن تتغير أثناء تصنيع المنتج . تم ذكر عوامل عديدة لها تأثير واضح . أهم هذه العوامل يحدث له تلوث باللاقمات البكتيرية . تكون ظروف العملية أيضاً أساسية ، فمثلاً يمكن أن يقل معدل إنتاج الحامض بواسطة كلوريد الصوديوم أو بواسطة المعاملة الحرارية تحت الشدة المطلوبة لقتل بكتيريا البادئ .

4.5.13 تصنيع بادئ تقليدي *Traditional Starter Manufacture*

يتكاثر البادئ تقليدياً ، بإضافة كمية من مزرعة نامية إلى كمية صغيرة من اللبن الفرز المسخن بشدة ، يحضن اللبن المطعم أو الملقح حتى يصل الأس الهيدروجيني له إلى أقل من 4.5 ثم يبرد . وهذا يكون المزرعة الأم Mother culture والذي يستخدم أيضاً كمُطعم في تحضير الحجم الكلي للبادئ bulk starter الأخير هو المطعم لتصنيع المنتج في اليوم التالي ، نحتاج في بعض الأوقات إلى مزرعة وسيطة Intermediate culture اعتماداً على الحجم الأعظم للبادئ (شكل 12.13) تستخدم المزرعة الأم أيضاً كمطعم inoculum للمزرعة الأم الجديدة لليوم التالي .

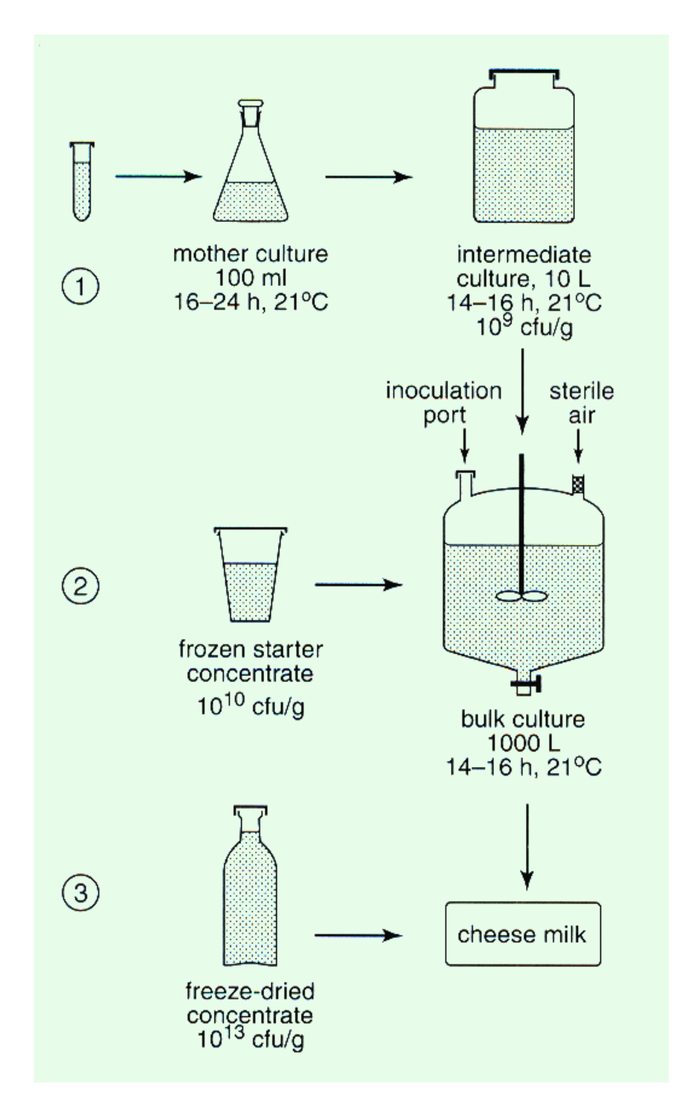
يتم تحضين البادئات المحتوية على بكتيريا محبة للحرارة المتوسطة Mesophilic starters عند حوالي 20 درجة مئوية لمدة حوالي 20 ساعة ، نسبة التطعيم هي من 0.5 إلى 1 . البادئات المحتوية على بكتيريا محبة للحرارة العالية Thermophilic starters يتم تحضينها عند درجة حرارة تتراوح بين 40 إلى 45 درجة مئوية لعدة ساعات قليلة ، بعد إضافة نسبة صغيرة من المطعم ، ولكي نحافظ على خصائص البادئ ، يجب أن تحضر المزرعة الأم والحجم الأعظم

للبادئ bulk starter تحت ظروف متماثلة ، ولو حتى من يوم إلى يوم وهذا يحتاج وقت تحضين ثابت ، ودرجة حرارة ، نسبة تطعيم inoculum percentage وحموضة البادئ الناضج ويكون ثابت للبن . يتوفر مسحوق ألبان خاص لعمل لبن البادئ . وحتى عند أحسن الأوقات ، لا تضمن الطريقة التقليدية لتحضير البادئ تكوين ثابت وخواص ثابتة للبادئ (انظر تحت فصل 1.4.5.13 و2.4.5.13) .

1.4.5.13 سلالة واحدة ومعرفة *Single-strain and Defied Strain*

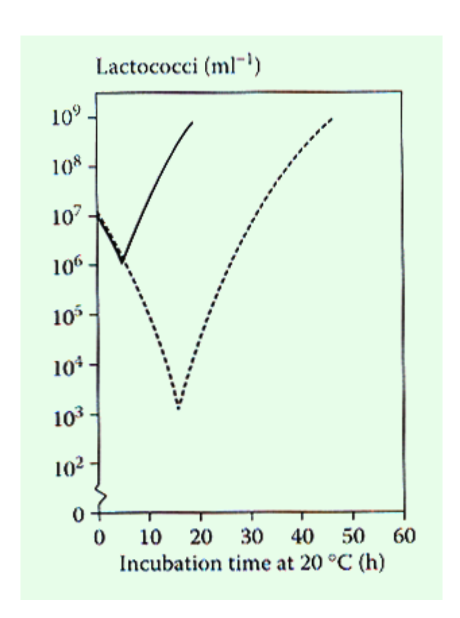
بادئات محبة للحرارة *Mesophilic Starters*

حتى عام 1980 ، تنمى بادئات سلالة واحدة أو خليط من ذلك ، بطريقة تقليدية . وقد استخدمت غالباً لعمل الجبن الشيدر Cheddar cheese . في البداية ، تم تصنيع الجبن في كل مصنع من يوم إلى آخر باستخدام نفس سلالة البكتيريا لاكتوكوككس لاكتس *Lactococcus lactis* ذات التخمر المتجانس (معزولة من سلالة بادئ مختلطة) والتي تنمى في ظروف معقمة . إلا أن هذه السلالات تكون عالية الحساسية للاقمات ، وتتخذ احتياطات لتجنب التلوث باللاقمات المحللة ذات التخمر المتجانس والتي عادة ما تفشل ، وهذا يصبح واضحاً عندما تصبح مصانع عمل الجبن كبيرة ، تسبب تصنيع عدة دفعات متتابعة من الجبن في يوم واحد تراكم اللاقمات البكتيرية في المصنع . شكل 13.13 يوضح تأثير لاقم متشابه يهاجم بادئ سلالة واحدة ، تستخدم في تطعيم اللبن . يكون جزء صغير فقط من المزرعة البكتيرية مقاوماً للاقمات (0.01% في هذا المثال) . عندما تستخدم نسبة تطعيم تعادل حوالي 10^7 بكتيريا لكل ميليلتر من اللبن المطعم ، فإن عدد الخلايا ينخفض إلى 10^3 لكل ميليلتر ، ثم يزداد ثانية نتيجة لنمو البكتيريا المقاومة للاقم تحت ظروف تحضين عادية أي 20 ساعة عند 20 درجة مئوية ، هذه السلالات المقاومة لا تنمو إلى 10^5 خلية لكل مليلتر من البادئ ، والتي يحتاجها للتأكد من معدل مرضي من إنتاج الحامض ، وبكلمات أخرى فإن البادئ يكون غير ملائم للاستخدام .



شكل 12.13 شكل توضيحي لتصنيع بادئ في مصنع ألبان لإنتاج الجبن 1. تكاثر تقليدي لمزرعة الحجم الأعظم للبادئ starter bulk culture .2 تكاثر حديث باستخدام مركز البادئ Starter concentrate .3 التطعيم المباشر باستخدام الراقود (وعاء ضخم) Direct vat inoculation

Figure 13.12 Schematic presentation of starter manufacture in a dairy for cheese production. 1. Traditional propagation of starter bulk culture. 2. Modern propagation using starter concentrate. 3. Direct vat inoculation

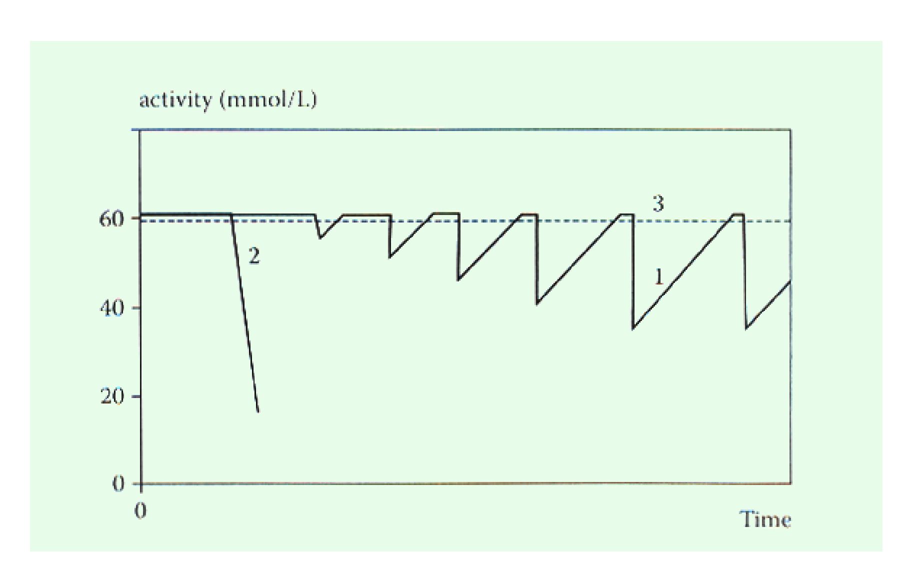


شكل 13.13 سلوك نوعان من البادئات بعد إصابتها بلاقم بكتيري مسبب للإزعاج ، الخطوط الكاملة : سلوك بادئ من النوع P (تم تنميته عملياً) يحتوي على 10% سـلالات مقاومة ؛ الخطوط المتقطعة ، سـلوك بادئ سلالة واحدة يحتوي على 0.01% سلالات مقاومة في كلتا الحالتين ، 1% بادئ يضاف إلى اللبن

Figure 13.13 Behavior of two types of starter after being attacked by a disturbing bacteriophage. Solid line: behavior of a P starter (propagated in practice) containing 10% resistant strains; broken line: behavior of a single-strain starter with 0.01% resistant variants. In both instances, 1% starter was added to milk. (Adapted from J. Stadhouders and G.J.M. Leenders, *Neth. Milk Dairy J.*, 38, 157, 1984)

ولكي نحل هذه المشـاكل يتم إدخال سـلالة واحدة أخرى ، من مزارع ليس لها علاقة باللاقم البكتيري ، والذي اسـتخدم في دورة تصـنيعية By rotation . بالإضـافة إلى ذلك ، اسـتخدام بادئ يحتوي على سـلالتين لهما خواص مختلفة وجد أنه ضـروري لتصـنيع جبن شـيدر ذو نوعية مرضـية . أيضـاً خلطات مختلفة من هذه السـلالات لها حسـاسـيات مختلفة للاقم البكتيري تستخدم كمزرعة سـلالة معروفة في دورة تصـنيعية . إذن النظام يرتكز على الخواص الجينية للسـلالات البكتيرية ، وبالنسـبة لمقاومته للاقم البكتيري ، وخواص اللاقمات بالنسـبة لمدى

عوائلها . ولقد اتضـــح الآن أن هذه الفكرة كانت خاطئة وأن نظام الدورة يمكن أن يؤدي إلى مشاكل عديدة (انظر تحت فصل 5.5.13) .



شـــكـل 14.13 تـذبـذبـات معـدل إنتـاج الحـامض في اللبن في المعمـل (تم تنميتهـا في المعمـل وليس في التطبيق العملي) والبادئات P بعد إدخالها في المصـــنع ، 1. البادئ P تم تنميته بالطريقة العادية ، 2 بادئ معملي تم تنميتـه بـالطريقـة العـاديـة ، 3. بـادئ P أُدخـل كمزرعـة أم مركزة ، (بـادئ مركز) بينمـا الحجم الأعظم للبـادئ تم زراعته تحت ظروف حماية تـامة من اللاقم البكتيري معـدل إنتـاج الحـامض (النشاط) يتم التعبير عنها بنشاط معايرة اللبن المطعم بـ 1% بادئ ، تم الحصول عليه بعد 6 ساعات عند 30 درجة مئوية

Figure 13.14 Fluctuations of the rate of acid production in milk by lab (propagated in laboratory, thus not in practice) and P starters *after* introduction in the plant. 1: P starter, propagated in the traditional way; 2: lab starter, propagated in the traditional way; 3: P starter, introduced as a concentrated mother culture (starter concentrate), while the bulk starter is cultured under complete phage protection. The rate of acid production (activity) is expressed as the titratable acidity of milk inoculated with 1% starter, obtained after 6 h at 30°C. (Adapted from J. Stadhouders and G.J.M. Leenders, *Neth. Milk Dairy J.*, 38, 157, 1984)

2.4.5.13 بادئات سلالات مختلطة *Mixed-Strain Starters*

تستخدم في الوقت الحاضر ، هذه البادئات عادة في عدة مناطق ، ومازالت تستخدم حتى الآن ولكن بانخفاض تدريجي ، مازال الشرش المطعم والمزروع بصورة متتالية يستعمل في تشكيلات جبن معينة ويمكن أن يعتبر أيضاً كبادئ سلالات مختلطة .

تنمى البادئات في اللبن تحت ظروف صحية ، ولكن ليس هناك أجراء وقائي ضد تلوث المزارع الأم والحجم الأعظم للبادئات Bulk starters بواسطة اللاقمات البكتيرية وعلى ذلك ، فإن البادئات تحتوي على عدد كبير من اللاقمات البكتيرية يصل إلى 10^8 لكل مليلتر . والتي يجب أن تؤخذ في الاعتبار . تنمو البادئات في التطبيق الفعلي (بادئات من النوع P) ولو أنها تظهر مقاومة محسوسة ، عامة يسبب خواص اللاقم الحامله له (انظر تحت فصل 4.2.3.13) . أعداد كبيرة نسبياً من سلالات بادئات ، أي 10% من كل السلالات الموجودة في البادئ تحتمل هجوم اللاقمات المزعجة Disturbing phages عادة ، يحدث مثل هذا الهجوم بشكل غير ملحوظ ، وتنحرف الفلورا ناحية السلالات المقاومة ، والتي تحت ظروف التحضين العادية (20 ساعة عند درجة حرارة 20 درجة مئوية لبادئات الحرارة المتوسطة ، 1% بادئ مضاف) ، يمكن أن تنمو إلى حوالي 10^3 لكل مليلتر بادئ (انظر شكل 13.13) . يمكن أن يكون للبادئ معدل إنتاج حامضي عادي .

الحامض في التطبيق العملي ، يمكن أن يتذبذب معدل إنتاج خاصة في بادئات الحرارة المتوسطة ، الحكم بواسطة القدرة على إنتاج الحامض ، يمكن أن يبدو البادئ النامي غير متأثر بعد الهجوم الأول للاقم ، ولكن الفلورا الناتجة الآن تحتوي على نسبة عالية من السلالات التي تكون مقاومة للاقم الأول ، يمكن أن يحطم تجديد الهجوم بواسطة لاقم آخر جزءاً كبيراً من المستعمرة مسبباً انخفاض معدل إنتاج الحامض . وبالتالي تلزم ناقلات أكثر لاستعادة المستوى الأصلي لمعدل إنتاج الحامض ، تقوي إعادة الهجوم التأثير (انظر شكل 14.13 والمنحنى 1) .

بالإضـــافة إلى ذلك ، يمكن أن تعزى تكوين متغيرات جينية في البادئ إلى تغيرات في معدل إنتاج الحامض ، ولو أن اللاقمات التي حدث لها إزعاج لم تظهر ، يمكن أن تنحرف الفلورا إلى النوع الطافر الذي ينمو بصورة أسرع ، تحت ظروف معملية ، الأنواع الطافرة يحدث لها تحطيم في الحال ، نتيجة للتلوث بواسطة اللاقمات المتشابهة (الانتقاء الدوري periodic selection) .

عندما ينمى بادئ P تحت حماية كاملة من اللاقمات لمدة طويلة في المعمل ، فســـوف نصـنع منه كائنًا طافراً حســاسـاً للغاية للاقم ، ويصـبح بادئ معملي (a lab starter) وبالتالي يتحطم مثل هذا البادئ بســرعة عندما يعاد إدخاله تحت الظروف العملية التطبيقية (انظر شــكل 14.13 ومنحنى 2) .

يمكن في التطبيق العملي ، اســـتخدام تنمية بادئات ســـلالات مختلطة دون مشـــاكل كثيرة . لم يحدث فشــل ذريع لبادئ لأن الســـلالات المقاومة دائماً ما تتبقى بعد هجوم اللاقم . ومع ذلك وكما ذكر ســابقاً ، فإن معدل إنتاج الحامض بواسـطة البادئات يتأرجح ، أو حتى يمكن أن ينخفض تحت المسـتويات المرغوبة لتصـنيع المنتج ، بالإضـافة إلى ذلك ، فإن مكونات البادئ تنحرف بصورة مستمرة . هذه الخواص لا تلائم متطلبات ضبط عملية تصنيع الجبن الحديثة .

5.5.13 تصنيع البادئات الحديثة ***Modern starter Manufacture***

في تنمية البـادئـات التقليـدية ، تكون الطفرات Mutations مثـل الطفرات المســـببة لفقد البلازميد Plasmid loss ، مسـئولة عن تكوين مسـتمر لمتغيرات مسـببة للخواص الجينية ، شـاملة الحسـاسـية لمدى العائل . وهذا يعني أن الطفرة يمكن أن تصـبح عضـواً فاعلاً لمدى العائل للاقم معين أو حزمة من اللاقمات التي كان أســـلافها منيعة Impervious وفوق ذلك مجموعة جينات اللاقم في المصنع وخواصها الجينية لا تكون ثابتة . أنواع مختلفة من اللاقمات تم إدخالها من خلال اللبن الخام ، واعتماداً على أعدادها ، شـــراســـتها ، وعدد الخلايا العائلة في اللبن ، فإنها تستطيع التكاثر والتضاعف وتصبح خطراً على البادئ . بالصدفة ، تتحمل لاقمات عديدة البسترة المنخفضـــة للبن ، كما يطبق مثلاً في عمل الجبن . تبقى أنواع لاقمات أخرى متراكمة في المصـــنع

بواسطة انطلاق لاقمات خبيثة من خلايا البكتيريا المحللة للجينات Iyso genic bacterial cells . من خلال تكاثر اللاقمات في خلايا العائل البكتيري ، يمكن أن تتغير خواصــها الجينية بواســطة الطفرات ، كذلك تحورات مســتحثة للعائل ، وإعادة اتحاد جيني ، أو لاقم محلل مع قبل لاقم prophage يمكن أن تحدث .

من كل ما تقدم يمكن أن يســتنتج أن خطورة التلوث بواســطة إزعاج اللاقمات تكون صغيرة إذا :

1. إذا كانت كمية اللاقمات في اللبن الخام صغيرة . وهذا يقتضي أن اللبن يجب أن يكون له عد منخفض من بكتيريا حامض اللاكتيك . بالنســبة للبن الكلي البارد المخزن في المزرعة ، هذه المتطلب عادة ما يكون صعباً .
2. تكون الخواص الجينية للبادئ البكتيري ثابتة . وهذا يمكن انجازه بواســطة التجميد الســريع للمزرعة والحفاظ عليه عند درجة حرارة تحت -35 درجة مئوية .
3. يتم اختيار البادئ البكتيري بحيث يكون مقاوماً لعدد كبير من اللاقمات البكتيرية (انظر النص التالي) .
4. عدد السلالات البكتيرية في البادئ يكون صغيراً .
5. أثناء تنمية البادئ يمنع التلوث باللاقمات البكتيرية باســتخدام تقنية الغرفة النظيفة Clean-room Technology وأثناء تصنيع المنتج بواسطة التنظيف الصارم الدائم والمطهرات .

1.5.5.13 تركيزات البادئ *Starter Concentrates*

تأسـيسـاً على هذه الاعتبارات ، نظام تم إنشـاؤه (للمرة الأولى في نيوزيلاند) والذي يبدأ بالتجميد العميق ، وســلالات بكتيرية مقاومة للاقمات البكتيرية . الســلالات المعزولة من بادئات ذات سلالات مختلطة (تكون هذه البادئات مصدر مرضي للسلالات المعزولة) تم اختبار مقاومتها ضـــد عدد كبير من اللاقمات الموجودة في جبنة شـــرش مصـــانع مختلفة . وبالتالي ، تم اختيار السلالات المقاومة بالكامل على أساس صلاحيتها لتصنيع المنتج أي معدل إنتاج الحامض ، تكون

النكهة ، المقاومة للمضادات الحيوية ، ... الخ . في مصانع الألبان المتخصصة ، السلالات المناسبة ومخاليطها تزرع تحت حماية تامة من اللاقم البكتيري ، ثم تركز وتوزع أثناء التجميد العميق (لكي نتجنب تحطيم الخلايا الناتجة عن خطوات التبريد ، يضاف اللاكتوز للمركز كحماية ضد التجمد ، انظر فصل 2.11) . يمكن أن يخزن المركز لعدة أشهر بدون فقد محسوس لخصائصه . ومن الواضح من مدى ســـلالات مختارة ، إن جميع أنواع البادئات يمكن أن تتكون غير عطرية أو عطرية محبة للحرارة المتوسطة أو محبة ، للحرارة العالية ، ... الخ .

في مصانع الألبان ، المركزات تمثل المزرعة الأم بمكونات بكتيرية ثابتة ومعدل إنتاج الحامض ، ويســـتخدم لتحضـــير مزرعة الحجم الأعظم للبادئ The bulk starter culture كل يوم يتم بتطعيم لبن بادئ الحجم الأعظم بوحدة جديدة من المركز الذائب المحتوي على 10^{10} CFU لكل مليلتر (شـــكل 12.13) . ويتم تنميتها مع حماية كاملة من نمو اللاقم ، والذي يحتاج رؤية خاصـــة للمخمر، شـاملة مرشـحاً للاقم وتصـميماً لحقن لبن بادئ الحجم الأعظم . اسـتخدام آليات مقفلة (مثل آلة عمل خثرة لبن مقفلة) والمحافظة على مســتوى صــحي مرضــي يســتخدم لتقليل التلوث باللاقمات وتراكمها أثناء تصـــنيع المنتج . يمكن أن تســـتخدم في التطبيق العملي ، البادئات لمدة طويلة بتتابع ، ودون حاجة لنظام دورة ، بجانب ذلك عندما يخرج لاقم مخل Disturbing phage ، يمكن أن تستبدل السلالة الحساسة للاقمات البكتيريا بسلالة مقاومة ، تكون عدد السلالات في البادئ محصورة في الرقم 6 أو أقل ، وهذا ما يسمى نظام بادئ متعدد . وفي بعض الأحيان لا تزيد عن سلالتين يتم استخدمها (نظام زوج واحد Single-Pair system) .

نظام أقدم (نشـأ في هولندا) يتركز على اسـتخدام مزارع أمهات مركزة تتكون من بادئات P . أحياناً النظامان لا يختلفان بشـكل أسـاسـي . بادئات السـلالات المختلطة ذات معدل إنتاج لحامض مرضـي ملائم لعمل منتجات جيدة النوعية ، تم الحصـول عليها من مصـانع ألبان مختلفة . يجمد كل بادئ بشدة في الحال لكي نثبت مكونات البكتيريا واللاقم البكتيري ، مع خواص البادئ شـــاملة مقاومته الطبيعية للاقم . نادراً ما تكون البادئات متحولة . في إنتاج مزارع أمهات مركزة .

يجب أن يحافظ على نسب السلالات المختلفة في البادئ وخصوصاً نسبة البكتيريا المكونة للنكهة إلى البكتيريا غير مكونة النكهة . يمكن أن يزرع البادئ عند أس هيدروجيني ثابت ولنقل 6 بواسطة معايرة مستمرة مع القلوي ، ولكن المحافظة على نسبة السلالات الصحيحة تكون الأسهل عندما لا يتم ذلك . البادئ الناضج يتم معادلته بالقلوي ، ثم يركز إلى تركيز بكتيري حوالي 40 مرة عن البادئ التقليدي ، للمزارع المحبة للحرارة العالية (الزبادي) يكون التركيز حوالي 20 مرة . بعد إضافة اللاكتوز يجمد المنتج بشدة وينقل إلى المستهلك .

مرة أخرى ، يضمن النظام الأخير ثبات التكوين البكتيري للمزرعة الأم ، بالإضافة إلى إزالة تامة لتذبذبات نشاط البادئ أثناء تصنيع المنتج (انظر أيضاً منحنى 3 في الشكل 14.13) يستخدم النظام للجبن ولمنتجات أخرى .

إذا طبقت هذه النظم ، التلوث بواسطة اللاقمات المخلة يمكن أن يحدث فقط أثناء تصنيع المنتج . في صناعة الجبن . يكون تضاعف اللاقم محدوداً ، لأن تجلط اللبن يعوق انتشار اللاقم خلال الهلام .

تسبب البادئات المحبة للحرارة العالية مشاكل أصغر من البادئات المحبة للحرارة المتوسطة . السبب ليس واضحاً بالضبط ، تميل اللاقمات إلى التكاثر عند معدل منخفض وعندها مجال عائلي محدود ، فمثلاً *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus* تكون غير حساسة للاقمات التي تهاجم *Streptococcus thermophilus* . بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أن تلعب طبيعة المنتج دوراً ، فمثلاً في صناعة الزبادي لا يتكون شرش ، يكون الشرش وعاء أساسياً للاقمات وهو السبب الرئيسي لتراكم اللاقم في مصانع الجبن .

مركزات البادئ في هذه الأيام أيضاً مصنوعة من سلالات معينة والتي تستخدم في تخمرات لبنية مختلفة ، مثل طافرات مقاومة للاقمات البكتيرية ومساعد البادئات Adjunct starters في تصنيع الجبن والسلالات قبل حيوية Probiotic strains (فصل 4.22) في تصنيع الزبادي . أيضاً بادئات سلالات عديدة منتقاة ، تتكون من ثلاث أو ست سلالات لاكتوكوكس

Lactococcus strains للاستخدام في صناعة الجبن تكون متوفرة في مركزات مجمدة بشدة . في أغلب الحالات ، يتم تنمية هذه البادئات وتكاثرها في اللبن ، أو أوساط معتمدة على الشرش المطعم بمستخلص الخميرة والفوسفات الرابطة لأيونات الكالسيوم Ca^{+2}-Binding phosphates لتحفيز النمو وتثبط تكاثر اللاقمات البكتيرية على التوالي .

2.5.5.13 التطعيم المباشر في القاعود (وعاء ضخم) *Direct Vat Inoculation*

التطعيم المباشر للبن مع عدد كافٍ من بكتيريا حامض اللاكتيك عن طريق التجميد الشديد أو مزرعة بادئ ذات حجم كبيرة مركزة ومجففة بالتبريد Freeze-dried Concentrated bulk Starter culture بها إلى 10^{13}CFU لكل جرام (شكل 12.13) توزع مع تحضير حجم كبير من البادئ ، وبسبب عدم وجود خطوات تنمية بكتيرية ، فإن هجوم اللاقمات يكون في حالته الأدنى ، طريقة التطعيم المباشر لها ميزة بسيطة عن جهاز تحضير مركزات البادئ Starter concentrate Preparation system ، الذي يضمن أيضاً تحكماً مرضياً لمشكلة اللاقم البكتيري ، عيب كبير لهذه الطريقة هو الثمن المرتفع ، وعلى ذلك يجب أن يؤخذ تطبيقها في الاعتبار فقط عندما يكون هناك مشاكل لاقمات بكتيرية خطيرة ، لا يمكن حلها بواسطة تحديث تصنيع البادئ ، أو إذا كانت نسبة إضافة البادئ صغيرة (كما هو الحال عند تصنيع نوعيات من الجبن تستخدم فيها درجات حرارة عالية .

مراجع مقترحة *Suggested Literature*

كتاب شامل مزود بفصول عن تصنيف ، وراثة ، وأيض بكتيريا حامض اللاكتيك ، وعلى اللاقمات البكتيرية وتصنيع البادئات :

T.M.Cogan and J.P.Accolas, Eds., Dairy Starter Cultures, VCH Publishers, New York, 1996.

للتصنيف والفسيولوجي انظر :

L.Axelsson, Lactic acid bacteria: Classification and physiology in S.Salminen and A.Von Wright, Eds., Lactic Acid Bacteria, Microbiology and Functional Aspects, 2nd ed., Dekker, New York, 1998.

كتب أخرى بها معلومات كثيرة :

B.A.Law, Ed., Microbiology and Biochemistry of Cheese and Fermented Milks, 2nd ed., Blackie, London, 1997, especially chapter 2 (classification and identification of bacteria important in manufacture of cheese) chapter 9 (proteolytic systems of dairy lactic acid bacteria).

ولمعلومات أخرى انظر :

T.M.cogan and C.Hill, chapter 6, in P.F.Fox, Ed., Cheese chemistry, physics and Microbiology, Vol. I. General Aspects, 2nd ed, Chapman and Hall, London 1993.

انظر أيضاً الطبعات الجديدة في هذا الكتاب :

P.F.Fox, P.L.H. McSweeney, T.M. Cogan and T.P. Guinee, Eds, Cheese Chemistry, Physics and Microbiology, Vol. 1, General Aspects. 3rd ed., Elsevier Academic Press, Amsterdam, 2004, especially chapters on starter Cultures by E. Parente and T.M. Cogan (جوانب عامة) M.J. Callanan and R.P.Ross (جوانب جينية) S.Mc Grath, G.F.Fitzgerald and D. Van Sinderen (اللاقمات البكتيرية) and J.-F, Chamba and F.Irlinger (المزارع الثانوية ومساعد البادئات)

كتاب شامل عن جميع جوانب الجبن ، مع فصل واضح عن مزارع البادئات :

P.F.Fox, Fundamentals of cheese science , Aspen, Gaithersburg, MD, 2000.

مرجع شامل على لاقمات البكتيريا في البادئات البكتيرية :

G.E. Allison and T.R. Klaenhammer, International Dairy Journal, 8, 207-226, 1998.

14 تكوين المترسبات (الخبث) والتطهير
Fouling and Sanitizing

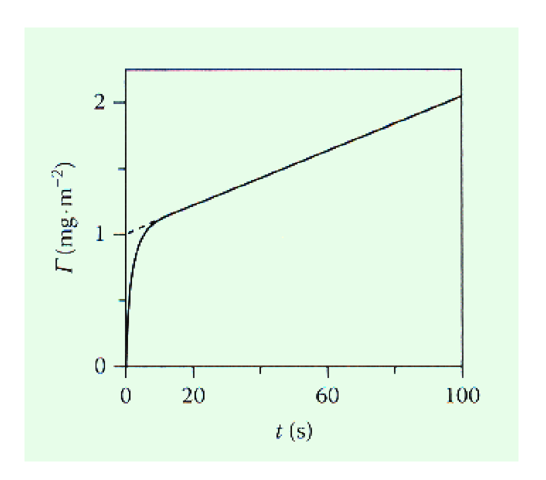
في الصناعات اللبنية ، يكون التنظيف والتطهير عمليتان أساسيتان . تتكون المترسبات لأن بقايا اللبن تظل عالقة على سطوح الآلات ، إن بقايا اللبن التي جفت يكون من الصعب إزالتها . يكون الخبث الزائد مكلفاً لأن اللبن قد فقده ، تكون زيادة تركيزات المواد المنظفة ضرورية ونتيجة لذلك يستهلك ماء أكثر لإزالتها .

يتكون الخبث خاصة أثناء تسخين اللبن ، والذي ينتج عنه تكوين رواسب على سطح المعدن والتي يكون من الصعب إزالتها ، يقلل تكوين الرواسب معدل نقل الحرارة ومعدل سريان اللبن في الآلات ، ومن المحتمل أن تتوقف الآلات عن العمل . في مجفف متعدد التأثيرات بستة تأثيرات مثلاً ، تقدر التكلفة نتيجة تكون الخبث (فقط كميات من اللبن والتنظيف) بأكثر من نصف التكلفة الجارية الكلية (شاملة الآلات والطاقة ، ... الخ) . يكون تنظيف الآلات هاماً للتقليل من هذه المشاكل كلها ولمنع نمو الميكروبات الدقيقة في بقايا اللبن ، والتي تكون غير مرغوبة كلياً . يمكن أن تنمو ميكروبات عديدة على سطوح رقيقة من بقايا اللبن .

حالة خاصة هي أغشية من الخبث ، والتي ستناقش في الفصل الثاني عشر .

1.14 تكوين الرواسب *Deposit Formation*

يبدأ خبث السطوح دائماً بعملية ادمصاص الجزء الأغلب من البروتينات ، من اللبن ومشتقاته . أولاً سوف يحدث ادمصاص لمصل البروتين على سطح المعدن دون اعتبار لكون هذا السطح محباً أو كارهاً للماء . يحدث الادمصاص فورياً في القالب (في حوالي 1 ملي ثانية) ، وهو ليس خبثاً . فهو يخص طبقة سمكها جزيء واحد Monomolecular layer ، إلا أن على هذه الطبقة المدمصة يتم ترسيب مصل بروتين زائد ، ومواد أخرى مثل فوسفات الكالسيوم ، جسيمات كازين ، كريات لبن ، وبكتيريا . شكل 14-1 يوضح الفرق بين الادمصاص الابتدائي السريع للبروتين والترسيب اللاحق الأكثر بطيئاً .



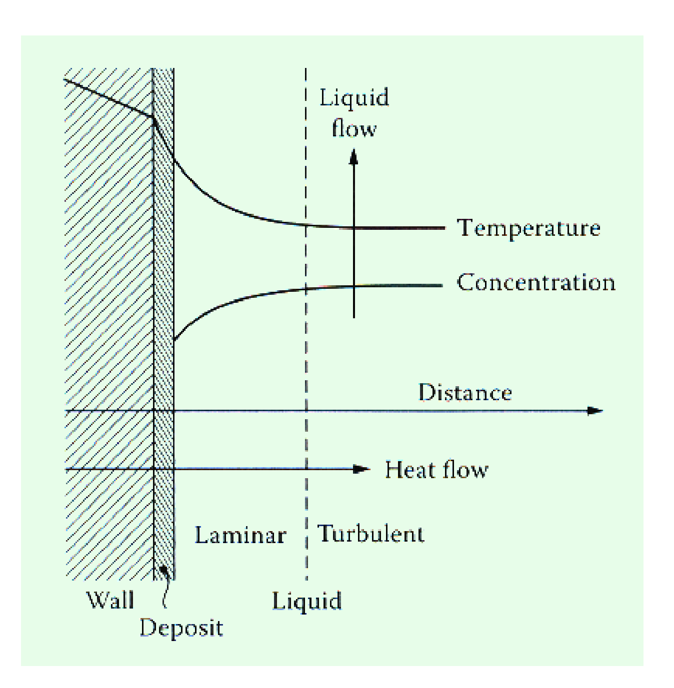
شكل 1.14 ترسيب البروتين من محلول مصل بروتينات مخفف للغاية على سطح أكسيد الكروم عند درجة 85 درجة مئوية . Γ هي حمل البروتين وt هي الوقت . نتائج تقريبية

Figure 14.1 Deposition of protein from a very dilute solution of serum proteings onto a chromium oside surface at 85°C. Γ is the protein load and *t* is the time. Approximate results. (Adapted from experiments by T. Jeurnink et al., *Collods and Surfaces B*: *Biointerfaces*, 6, 291-307, 12996)

ومن المفيد أن نعطي بعض الأفكار عن الكميات المستخدمة . الطبقات البروتينية ذات سمك جزئ واحد المدمصة لها أحمال سطحية ، للجزء الغالب يتراوح بين واحد إلى 3 مليجرام. متر$^{-2}$. تتكون طبقة رواسب سمكها واحد مليمتر من 20% لكل حمل بروتيني قدره 200 جرام. متر$^{-2}$. أي 10^5 مرات الطبقة المدمصة .

قيمة معقولة لمعدل الرواسب المتكونة في متبادل حراري عندما يبستر اللبن هي 30 جرام.متر$^{-2}$. ساعة$^{-1}$ ، وعلى ذلك سوف تحتاج إلى 7 ساعات لتكوين طبقة سمكها واحد مليمتر . في بعض الحالات ، يتم مشاهدة معدلات ترسيب أسرع (انظر النص التالي) .

هناك نوعان من المواد المترسبة تم التعرف عليها ، هما النوع A وB . النوع A يتكون عند درجات حرارة متوسطة أي 80 درجة مئوية . ويتكون من حوالي 35% رماد و50% بروتين في المادة الجافة ، ويكون لونه مصفراً . ومنتفخ ويشبه الخثرة . جدول 1.14 يعطي مثالاً



شــكل 2.14 منحنى درجة الحرارة بالقرب من جدار مســخن في تدفق من خلال مبادل حراري وتأثيره على منحنى تركيز المادة التي تصبح غير ذائبة عند درجة حرارة عالية ، وبذلك تترسب على الجدار (شكل توضيحي)

Figure 14.2 Temperature gradient near a heated wall in a flow-through heat exchanger and its effect on the concentration gradient of a material that becomes insoluble at high temperature and is thereby deposited onto the wall (schematic)

لتركيبه مقارنة بالموجود في اللبن الفرز ، من المشــاهد أن حوالي 10% من المادة الجافة المترســبة لا تنتمي إليه ، ولكنها تخص منتجات ميلارد لأن كثير منها يتكون عند درجة حرارة عالية . النوع الثاني B يتكون عند درجة حرارة عالية ، عادة أكبر من 100 درجة مئوية ، وتحتوي على أكثر من 70% رماد (الجزء الغالب فوسفات الكالسيوم) وبعض البروتين ، ويبدو كمتماسك رملي ويسمى أيضاً حصى الرمل Milkstone أو المقياس Scale .

جدول 1.14 مكونات المادة الجافة في اللبن الفرز والرواسب المتكونة في متبادل حراري عندما يسخن اللبن الفرز إلى درجة حرارة 85 مئوية

Table 14.1 Composition of the Dry Matter of Skim Milk and of the Deposit Formed in a Heat Exchanger when the Skim Milk is Heated to 85°C

Percentage of Dry Matter in نسبة المادة الجافة في		Component المكونات
Deposit الرواسب	Skim Milk اللبن الفرز	
34	6	Serum protein مصل البروتين
11	31	Casein الكازين
45	8	Total salts الأملاح الكلية
16	1.3	Ca الكالسيوم
23	2.0	PO_4, inorganic الفوسفات غير العضوية
0.0	53	Sugars السكريات
10	2	Other مواد أخرى

أمثلة تقريبية ، المصدر بتصرف من نتائج .

Approximate example. *Source*: Adapted from results by T.S.M. Jeurnink et al., Neth. Milk Dairy J. 50,407-426, 1996.

ومن الواضـــح أن نوعين من المكونات اللبنية تترســـب أي مصـــل البروتين وفوســـفات الكالسيوم . تكون هذه المواد التي تصبح غير ذائبة وفوق متشبعة على الترتيب ، عند درجات حرارة عالية الشـكل E 9.7 يوضـح حالة البروتينات بينما شـكل 8.2 يوضـح والفوسـفات غير العضـوية تحت 70 درجة مئوية ، وعلى ذلك يتضـح أي مواد تترسـب أولاً ، ولكن الميكانيكية مازالت تحتاج إلى إيضاح . ثلاث ميكانيكيات يمكن تصورها :

1. نسبة النقص أو الزيادة في درجة الحرارة بالقرب من الجدار : عندما يسخن وعاء به سائل من الخارج فإن سـطحه الداخلي سـوف تكون درجة حرارته أعلى من السـائل . إذا أدى التفاعل إلى حالة عدم ذوبان فإنه يتم أســرع عند درجة حرارة عالية ، والنتيجة أن جزء المادة يمكن أن يترسـب على الجدار ويكون تركيزه بالقرب من الجدار أقل ، وهذا يقتضي تكون منحنى التركيز

يؤدي إلى نقل للمادة أزيد على الجدار ، حيث يترسب جزء منه . وهذا يحدث بالفعل في قسم التسخين للمبادل الحراري ، حيث يسيل السائل الطازج باستمرار فوق الجدار ، منحنى الحرارة وبالتالي منحنى التركيز سوف يوجد فقط في طبقة حدود الصفيحة بالقرب من الجدار ، لأن أي دوامات أبعد سوف تسبب خلطاً شديداً (انظر شكل 2.14) ، إلا أن هذا الوضع يقتضي عملية ترسيب مستمرة . ويزداد ذلك إذا (1) كان منحنى الحرارة أكبر (ΔT كبيرة بين الجدار والسائل) و (2) إذا كانت الدوامات في السائل أقل شدة ، لأن ذلك يجعل طبقة حدود الصفيحة أسمك .

أهمية هذه الميكانيكية في لبن المبادل الحراري يمكن أن تُقيم من تأثير ΔT على تكون الخبث . لنفس درجة حرارة اللبن يكون تكوين الخبث أقوى في قسم التسخين $(\Delta T > 0)$ ، عن قسم الاحتجاز Holding section $(\Delta T = 0)$ أو أقسام التبريد $(\Delta T < 0)$ ولكن الوضع ليس دائماً كذلك ، وبالتالي المنحنى الحراري Temperature gradient الناتج ليس ضرورياً لتكون الخبث وفي الجانب الآخر لا تستطيع ΔT الكبيرة جداً أن تسرع من تكون الخبث ، خاصة للألبان المركزة .

2. التنافس بين السطوح : المادة غير الذائبة يمكن أيضاً أن تترسب على سطح أي جزيئات موجودة في السائل . في اللبن جزيئات الكازين هي المرشح الواضح والمحتمل ، ومن المعروف أن بروتينات المصل غير الذائبة المتكونة بعد التسخين وكذلك فوسفات الكالسيوم تصبح فوق مشبعة عند درجات حرارة عالية ، وتصبح ملتصقة مع جسيمات الكازين . ولأن جسيمات الكازين تكون قريبة جداً من بعضها في اللبن (في حدود 0.1 ميكرومتر) ومن ثم لجدار الوعاء . فالمواد التي تكون قريبة جداً للجدار هي فقط التي تستطيع أن تترسب على سطحه . ومع ذلك نجد أن هناك اندفاعاً مستمراً للسائل ناحية جدار المبادل الحراري . مساحة السطح النوعية A لجسيمات الكازين يمكن أن تحسب من القيم الموجودة في جدول 5.3 ، وهذا يعطي :

$$A = 6\phi d_{vs} = 6X0.06/0.1 = 36\,um^{-1} = 3600m^2/1$$

في صـــفيحة مبادل حراري ، لتر واحد من اللبن يمكن أن يكون عند أي نقطة من الوقت ، عند أي تلامس مع حوالي 0.5 متر$^{-2}$ من ســطح التســخين . في أول تقريب ينتج أن $3600/0.5$ مساوية لـــ 0.014% . من المادة المستخدمة ، سوف تترسب على أسطح المعدن . النسبة تم تقديرها للبيتا-لاكتوجلوبيلين عند 0.14% وهذا ســوف يقتضـــي أن مســـاحة المعدن تكون حوالي 10 مرات أكثر جذباً من ســـطح جســـيمات الكازين للبروتين لكي تترســـب عليها ، وبالرغم من أن نسبة الرواسب تكون صغيرة للغاية ، إلا أن الممدد المستمر للبن الطازج يعني أنه من المحتمل أن تتكون طبقة من الرواســب الضــخمة . في متبادل حراري ســعته حوالي 1000 لتر من اللبن يمكن أن تمر على أي سطح في الساعة ، فمثلاً في المثال الذي عُرض حالاً سوف يؤدي إلى ترسيب :

$$3.2 \times 0.0014 \times 1000/0.5 = 99.m^{-2}.h^{-1}$$

من البيتا-كازين (على افتراض أن اللبن يحتوي على 0.32% منه) . وحتى ولو لم تكن هناك جزيئات في السائل ، كما هو الحال في الشرش ، فإن تنافساً مشابهاً يمكن أن يحدث . في الشرش تؤدي دنترة بروتين المصل إلى تكون تجمعات . وهذه تتنافس مع جدار المتبادل الحراري لترسبات إضافية للمادة التي أصبحت غير ذائبة . إلا أن الترسيب في تجمعات يكون أقل فاعلية من ترسب جسيمات الكازين ، ويعطي الكازين معدل ترسيب أسرع للبروتينات وكذلك لفوسفات الكالسيوم عن اللبن تحت نفس الظروف .

3. فقاعات الهواء أو البخار Air or vapor bubbles ، عند ســـطح ســـاخن ملامس لســـائل فقاعات هواء حجمها مليمتر واحد ، يمكن أن تتكون في الحال إذا احتوى الســـائل على هواء كافٍ لأن يصـــبح فوق مشـــبع عند درجة حرارة عالية . الهواء في الفقاعة يكون بالطبع مشـــبعاً ببخار الماء . إذا ظلت الفقاعة عند الســـطح ، فإنه يمكنها أن تعيق عملية تكون الخبث . وهذا موضـــح في شـــكل 3.14 لجســـيمات الكازين ،

ولكن ينطبق ذلك بالتساوي على أي مواد مترسبة أخرى مثل بروتين المصل . البروتين يحدث له ادمصـــــاص على الفقاعة (1) تعمل الفقاعة كعازل ووفقاً لها تكون درجة الحرارة عند (2) أعلى من عند (3) ، أي 90 درجة مئوية و80 درجة مئوية على الترتيب ، وهذا يجعل الماء يتبخر بالقرب من (2) داخل الفقاعة ويتكثف بالقرب من (3) ، وطبقاً لذلك ينتقل الماء والحرارة . شكل 7.14 يوضح أن ضغوط بخار الماء النسبية سوف تكون 0.72 و0.48 على التوالي عند درجتي حرارة وقوة دفع حقيقية لنقل الماء توجد عندئذ . الســـائل قرب (2) الآن يصبح مركزاً مؤدياً إلى سرعة ترسيب البروتين ولكي نتغلب على هذه المشكلة ، يجب أن يفرغ اللبن قبل وأثناء المعاملة الحرارية ، أو يجب أن يحفظ اللبن عند ضغط عالٍ كافٍ أثناء التسخين .

شكل 3.14 فقاعة هواء تكونت عند سطح مسخن والعمليات الحادثة بالقرب منها (رسم توضيحي وليس له مقياس رسم معين)

Figure 14.3 Air bubble formed at a heated surface and processes occurring near it (schematic and not toscale)

ويظهر أن البيتا-لاكتوجلوبيلين يلعب دوراً في أغلب ترسبات الخبث في السوائل اللبنية ، وكما تم ذكره في تحت فصل 2.2.7 فإنه يتحول إلى شكل آخر عند درجة حرارة عالية ، حيث تصبح مجموعة SH- المدفونة في الداخل متفاعلة . ووفقاً لذلك فإنه يمكنها أن تسبب تكون روابط عرضية $-S-S-$ مع جزيئات بروتين آخرى . هذا التفاعل وتكون دايمرات وترايمرات البروتين من المحتمل حدوثها في حجم السائل الكبير وليس عند السطح . إذا سمح لهذا التجمع أن يستمر بالكامل ، وهذا يعني أن نهاية تفاعل البلمرة قد حدث في الشرش أو أن بروتينات المصل قد أصبحت مرتبطة كلياً مع جسيمات الكازين في اللبن ، وسوف لا يحدث ترسيب زائد . وقد تم ملاحظة أن اللبن أو الشرش قد تم تسخينه إلى مدى يسمح لكل البيتا-لاكتوجلوبيلين أن يصبح غير ذائب (انظر شكل E 9.7) وبذلك يصبح من الصعب رؤية أي بروتينات في الخبث .

يستمر ترسب فوسفات الكالسيوم ، ويكون الترسيب سريعاً كلما كانت الحرارة مرتفعة ، حيث تكون بروتينات المصل قد تم دنترتها ، وعندما يسخن اللبن تسخيناً فائقاً UHT في مبادل حراري . فالجزء الذي تم تسخينه إلى 70 درجة مئوية يحدث له ترسيب خبث قليل جداً ، بينما بين درجتي حرارة من 70 إلى 100 درجة مئوية تتكون رواسب من النوع A ، وترسب النوع B عند درجات حرارة أعلى شاملاً الجزء الأول من قسم التبريد .

تظهر جسيمات الكازين ميلاً ضعيفاً للترسيب ، وذلك بسبب التنافر الذي تسببه طبقاتها الشعرية Hairy layers (تحت فصل 3.3.3) . والتي تصبح محصورة في الراسب عن طريق اتصالها مع بروتين المصل المدنتر . يمكن أن تسبب بعض الإنزيمات المحللة للبروتين خاصة المنتجة بواسطة البكتيريا المحبة للبرد Psychrotrophic انفصال الكاباكازين ، وبذلك يقل التنافر الذي سببته الطبقة الشعرية . وهذا يؤدي إلى تسريع ترسيب جسيمات الكازين أثناء المعاملة الحرارية .

تصبح بعض كريات الدهن أيضاً محصورة في الرواسب لأن بروتين المصل يصبح متعلقاً بغشاء كريات الدهن بعد الدنترة بالحرارة . وهذا يؤدي إلى احتمالات ترسيب الكريات عند طبقة بروتين المصل المدنترة . يمثل المحتوى الدهني للرواسب من اللبن الطازج حوالي 5% من الوزن

الجاف ، يكون للكريات في اللبن المجنس مساحة أسطح مختلفة تماماً (فصل 5.9) ، تتكون أساساً من جسيمات كازين وبعض بروتينات المصل الطبيعي أو المدنتر ، هذه الكريات يتم احتواؤها في الرواسب التي يمكن أن يكون لها محتوى دهني عالٍ قد يصل إلى 40% من الوزن الجاف .

متغيرات Variables في التطبيق ؛ يكون للعوامل التالية أهمية في التأثير على ترسيب الخبث fouling في المبادلات الحرارية :

1. درجة الحرارة Temperature : وهذا تمت مناقشته بشكل واسع ، تحت درجة حرارة أقل من 60 درجة مئوية لا تتكون أية رواسب .
2. التسخين المسبق Preheating : تكون رواسب النوع A محكومة بواسطة دنترة البيتا -لاكتوجلوبيلين ، يسمح التسخين المسبق إلى درجة معينة بدنترة أغلب البيتا -لاكتوجلوبيلين سوف يقلل من تكوين الخبث ، وهذا يكون ذا أهمية للبن المركز في المبخر . أيضاً تكون المعاملة الحرارية للبن العادي مفيدة . عندما يسخن اللبن بسرعة إلى درجة حرارة عندها تحدث دنترة للبيتا-لاكتوجلوبيلين ثم يحفظ اللبن بعد ذلك عند هذه الدرجة في وعاء تكون نسبة مساحة سطحه إلى حجمه صغيرة ، وعلى ذلك فإن الدنترة تسبب تكون خبث أقل .
3. فرق درجات الحرارة بين الوسط المسخن والسائل Temperature difference between heating medium and liquid : بالرغم من أن ذلك ليس له تأثير كبير ، إلا أن الفروق الواسعة يجب تجنبها .
4. تكون فقاعات الغاز Formation of gas bubbles : تكون فقاعات الغاز على السطح المسخن يسرع من تكون الراسب ، كما تم مناقشته سابقاً . إزالة الغاز من اللبن قبل المعاملة الحرارية يمكن بالتالي أن يقلل من تكون الخبث المترسب ، التقليب أو البخار السريع يمكن أن يزيح الفقاعات من السطح .

5. الحموضة Acidity : كلما انخفض الأس الهيدروجيني في اللبن ، كلما تكون الراسب البروتيني أسرع . اللبن وشرش اللبن الذي أصبح حامضاً بواسطة الفعل البكتيري يمكن أن يسبب إعاقة عمل المبادل الحراري . وهذا سببه انخفاض ذوبانية بروتين المصل المدنتر عند أس هيدروجيني منخفض (انظر شكل A 2.7) . يكون ترسيب المعادن قليلاً عند أس هيدروجيني منخفض . وهذا يرجع إلى سرعة ذوبان فوسفات الكالسيوم عند أس هيدروجيني منخفض (انظر شكل 7.2) .
6. اللبن المركز Concentrated milk : وهذا يظهر تكون راسب أسرع من اللبن الطبيعي . (في أنابيب المبخر ، يمكن أن يصل سمك الطبقات المترسبة إلى سنتمتر واحد) بالإضافة إلى تركيز أعلى للمكونات المتفاعلة ، كلما ارتفعت اللزوجة (درجة حرارة السطح المرتفعة) والأس الهيدروجيني المنخفض يلعبان دوراً هاماً .
7. التجنيس Homogenization : يسرع التجنيس قبل المعاملة الحرارية ترسيب كريات الدهن ، كما سبق ذكره .
8. خواص اللبن الأخرى Other milk properties : هناك اختلاف كبير بين حصص اللبن المختلفة ، ولكن سبب ذلك لا يكون دائماً واضحاً . يسبب اللبأ ترسيب خبث خطير أثناء البسترة نتيجة لاحتوائه على محتوى بروتيني عالٍ . تحلل البروتين بواسطة الإنزيمات المحللة للبروتين من البكتيريا المحبة للبرد يمكن أن يسرع تكون الرواسب كما ذكر سابقاً .
9. الحفظ البارد Cold storage : يقلل الحفظ البارد للبن تكون الرواسب ، أثناء المعاملة الحرارية (إلا إذا كان هناك نمو زائد من البكتيريا المحبة للبرد) تفسير ذلك ليس واضحاً .

يمكن أن يتكون نوع مختلف تماماً من الرواسب ، يسمى الأغشية البيولوجية Biofilms بواسطة البكتيريا ستريبتوكوكس ثيرموفيليس . مثلاً ، الرواسب يمكن أن تنمو على سطح مبادل حراري للبن عند درجات حرارة بين 40 و50 درجة مئوية . جزء صغير جداً من البكتيريا يمكن أن

تلصـــق نفســـها على الجدار ، ولكن كلما كانت الخلية موجودة على الجدار عند درجة حرارة مناســبة ، فإنها تســتطيع النمو مكونة غشــاءاً بيولوجياً . وهذا هو طبقة مكونة من خليط خلايا بكتيرية ومكونات اللبن ، بكتيريا عديدة يمكنها تكوين أغشية بيولوجية مماثلة تحت ظروف معينة .

2.14 التنظيف ***Cleaning***

يهدف التنظيف إلى (1) إزالة المواد التي تتداخل مع الوظائف الأساسية لعمليات الآلات و (2) منع تلوث المنتجات المصـــنعة . تكون الكائنات الدقيقة الملوثات الأكثر أهمية ، يمكنها أن تنمو في جميع الرواسب ، وعادة سوف يفشل التطهير من خلال إزالة جميع الرواسب ، السطح الذي يبدو نظيفاً يمكن أن يكون به غشاء رقيق (حتى 10 ميكرومتر) من مكونات لبنية والتي يمكن أن تدعم معنوياً نمو الميكروبات .

بالإضافة إلى ذلك ، يجب ألا تكون عمليات التنظيف ضارة للعاملين أو تؤدي إلى تلوث البيئة ، ولا يجب أن تحدث عطباً للأجهزة أو تكون مواد تحدث تآكل بها ، ويجب أن تكون التكاليف معقولة .

متغيرات Variables : يحتاج التنظيف إلى مواد تنظيف تذيب أو تشـــتت الرواســـب ، وبالإضافة إلى ذلك يجب أن تزال مواد الخبث ، هناك عوامل هامة تؤثر على النتائج كالتالي :

1. طبيعة الرواســب Nature of the deposit : يجب تحديد نوع مواد التنظيف المســتخدمة ، الرواسب المتكونة أثناء المعاملة الحرارية تم مناقشتها في الفصول السابقة والرواسب المتكونة في عمليات الغشاء في فصل 12 . مواد الخبث الأخرى يمكن أن توجد على هيئة طبقة رقيقة من الزبدة في ممخضة اللبن .
2. مواد التنظيف Cleaning agents : الســوائل القلوية (مثل 1% هيدروكســيد الصـــوديوم أي 0.25 مولر) يمكن في العــادة أن تــذيــب المواد البروتينيــة ، ومن ثم النوع A- من الرواســـب وأغلب خبث الغشـــاء . يســـبب المحلول الضـــعيف للغاية تحللاً غير كافٍ ، ولكن التركيز العالي للغاية من هيدروكســـيد الصـــوديوم يؤدي إلى تغيير الرواســـب إلى

طبقة مطاطية والتي يكون من الصــعب إزالتها . تذيب الســوائل الحامضــية (عادة حامض الفوســفوريك والنيتريك حوالي 0.2 مولر) النوع B من الرواســب . تميل القلويات إلى تســريع هـذا النوع من الرواســـب إذا كـان الماء المســـتعمل عســـراً فـإن الفوســـفـات العديدة Polyptosphate والتي تحافظ على الكالسـيوم في المحلول ، يمكن أن تضـاف لكي تقلل هذا الترسيب . تكون عادة المعاملة القلوية متبوعة بواسطة الشطف الحامضي المنفصل Separate acid rinse إذا لم يكن الخبث زائداً ويشــتمل على قليل من النوع B فيســتخدم غالباً مادة منظفة خليط تحتوي على مادة قاعدية وعامل مخلبي كالسيومي مثل مادة الإيثلين ثنائي الأمين تيترا حامض الأسيتيك (EDTA) .

ناشـطات السـطوح Surfactants : مثل المواد الشـبيهة بالصـابون ، تضـاف في بعض الحالات . يمكن أن يفكك محلول الصـابون الرواسـب الدهنية من السـطح وينشـر جزيئات الدهن داخل جسـيمات الصـابون . وعلى ذلك ، تكون في حاجة إلى ناشـطات السـطوح عندما توجد طبقة دهنية وليس من الضـروري أن تزيل كريات الدهن التي تكون منتشـرة في الماء (بسـبب طبقات سطوحها) في تنظيف أغشية الترشيح الفائق يستخدم عادة الإنزيمات المحللة للبروتين .

3. الفترة الزمنية Duration : يمكن أن تأخذ إذابة الرواسب وقتاً طويلاً إذا انتشرت المواد المنظفة داخل الطبقة . كما هو عادة الحال . يتراوح المقياس الزمني بين عدة دقائق إلى نصف ساعة . يمكن أن يكون للطبقات السـميكة جداً وقت التغلغل سـاعات ، ومن ثم ميكانيكيات أخرى تظهر للعمل . انظر البنود التالية .

4. التقليب Agitation : وهذا ضروري لأن الرواسب المنتشرة يجب إزالتها ، والتي عادة ما تنجز بواسـطة انسياب السـائل خلال المعِده . يجب أن يكون الانسياب على هيئة دوامات ، وكلما كان عدد رينولد Reynolds number أعلى ، كلما كانت حدود الطبقة الورقية أرق (من خلالها يكون النقل كله بواسـطة الانتشـار) وعلى ذلك تكون العمليات كلها أسـرع . تسـبب الدوامات أيضـاً تذبذبات ضـغط محلي تكون ضـرورية في إزالة طبقات الرواسـب السـميكة .

يمكن أن تسبب التذبذبات تكون شروخ في الرواسب وتكون نتيجتها إزاحة كتل الرواسب والتي تنقل بعد ذلك وتتكسر في تيار الدوامات .

5. درجة الحرارة Temperature : عند درجة حرارة عالية ، تتم جميع العمليات المستخدمة بصورة أسرع ، وتكون لزوجة السائل منخفضة ، وعلى ذلك يكونا عدد رينولدز ومعامل الانتشار الأكبر . يمكن أيضاً أن تتم تفاعلات كيميائية مستخدمة في تشتيت الرواسب بشكل أسرع ، وإذا وجدت طبقة دهنية فإن انصهار جميع الدهون المبلورة يكون ضرورياً لإزالة الدهن . ومن ناحية أخرى ، عند درجة حرارة عالية أي 100 درجة مئوية يمكن لفوسفات كالسيوم إضافية أن تترسب خاصة في محلول قلوي .

6. طبيعة السطح Nature of the surface : في حالات معينة يمكن أن تظهر بعض المواد تكون قوى للخبث عن مواد أخرى ، ولكن الدراسات السابقة تشير إلى نتائج متضاربة في هذا الخصوص . يجب أن يكون السطح أملس لتنظيف كافٍ ومؤثر ، يجب أن لا تحدث مواد التنظيف تآكلاً للسطح . أغلب الصلب غير القابل للصدأ يكون مقاوماً للغاية للتآكل ، ماعدا ضد الأحماض القوية لمدة طويلة . أيضاً يكون الزجاج (سيلكيات البورون) أيضاً مقاوماً للغاية ، تظهر أغلب المشاكل مع مواد عديدة البلمرة وخاصة كما هو الحال في أغشية الترشيح الفائق أو الإسموزية العكسية .

7. الهندسة الداخلية للأجهزة والمعدات Internal Geometry of the equipment : مما سبق قوله عن دور التقليب ، يتضح لنا أن عدد رينولدز يجب أن يكون مرتفعاً في جميع أجزاء المعُدة أو الجهاز . وهذا يعني غياب النهايات الميتة dead ends والجوانب الحادة Sharp corners . هذه الاحتياطات يجب أن تؤخذ في الاعتبار .

عندما نصمم ونصنع المعدات تكون ، المشكلة الأسوأ هي وجود شقوق حادة في المواد والتصميمات ، في مثل هذه الشقوق تتكون الرواسب ولا يمكن إزالتها بطرق التنظيف العادية .

الخطوات والإجراءات Procedures . يمكن أن تتم عمليات التنظيف بطرق عديدة ، ولكن التنظيف في المكان Cleaning in place CIP يفضل عامة بسبب ملاءمته وفاعليته وتكاليفه المنخفضة . يمكن التمييز بين متغيرات التنظيف في المكان . للمبادل الحراري ومعدات متشابهة ذات حجم داخلي صغير نسبياً ، يكون الجهاز أكثر أو أقل استخداماً عندما نصنع منتجاً ، ولكن الآن مع سائل تنظيف يكون ممتلئاً بالكامل ، عادة السائل المنظف يعاد تدويره لمدة . ويمكن أن يأخذ وقتاً طويلاً قبل الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة والمبادل الحراري المنفصل لتوصيل السائل إلى درجة الحرارة المطلوبة ولنقل 80 درجة مئوية .

يستخدم في بعض الأوقات للجهاز المحتوي على أوعية أكبر نسبياً مثل الصهاريج ، أسلوب الرش بالرذاذ لمسحوق التنظيف ، يجب أخذ الحذر والتأكد من أن كل نقطة في السطح الداخلي للجهاز قد وصل إليها مسحوق التنظيف بشكل مرض . تنطبق ظروف مماثلة على أجهزة مثل غسالات الزجاجات .

إن التنظيف في المكان عادة ما يتم في الخطوات التالية :

1. قبل الشطف Prerinsing : قبل الشطف الشديد بالماء يمكن أن يزيل من 80% إلى 90% من المواد المترسبة في الجهاز . خاصة المنتجات اللزجة (الزبادي المقلب واللبن المبخر) ويمكن أن يستغرق ذلك وقتاً طويلاً قبل أن يزال كل المنتج بالغسيل . ولكي نحد من فقد اللبن وإنتاجية الماء الضائع يجب أن تزال أغلب بقايا اللبن قبل الشطف .
2. خطوات التنظيف Cleaning steps : طريقة أكثر استخداماً وهي التنظيف أولاً بمحلول قلوي ثم بمحلول حامضي . يزيل القلوي أغلب الرواسب ويترك كميات معينة من رواسب ، النوع B . بعد الشطف بالماء لإزالة أغلب القلوي ، يتم إدخال حامض النيتريك والفوسفوريك لكي نزيل رواسب النوع B (the scale) وبدلاً من خطوتي التنظيف التي تم ذكرهما . هناك خطوة واحدة للتنظيف باستخدام مواد تنظيف خليطه ، التنظيف بالقلوي والحامض يستخدم دائماً بعد ترسيب كبير للخبث بالجهاز المستخدم (مثل المبادل الحراري

لتعقيم اللبن والمبخرات) ، بينما مواد التنظيف الخليطة (المركبة Compound deter gents) تستخدم عادة لإزالة للخبث المتماسك كما يحدث في البسترة المنخفضة للبن العادي .

3. الشطف النهائي Final rinsing : الشطف بالماء يقصد به إزالة المواد المنظفة بعد التنظيف بالحامض ، يجب أن يزال الحامض كلية بالغسيل خاصة عندما يتم التطهير بهيبوكلوريت الصوديوم .

تكون الحاجة إلى إنجاز فصل مرضي للسوائل المستخدمة ، لكي نحد من استهلاك الماء ، وفقد الكيماويات وتكلفة معاملة الماء الضائع . الفصل المرضي يسهل تحقيقه بواسطة قياسات توصيل في خط الأنابيب وذلك بواسطة توصيل كهربي للسوائل المختلفة . تقدير الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة أو العكارة يمكن أن تستخدم أيضاً .

3.14 التطهير *Disinfection*

الغرض من التطهير هو قتل الكائنات الدقيقة الموجودة على الأسطح ، وبذلك نمنع تلوث المنتج أثناء التصنيع والتعبئة . التطهير المرضي ليس من الضروري أن يقتل كل الكائنات الدقيقة الموجودة ولكن يقلل عددها إلى مستوى تغيب عنده أي مخاطر صحية . التطهير يمكن أن يتم بنجاح ويصل إلى الكائن الدقيق . بالإضافة إلى ذلك، عمل المطهر يكون عادة محدوداً لأنه يصبح غير نشط بواسطة مواد عضوية موجودة ، وبالرغم من أن ذلك ، تختلف كفاءة التطهير بين المطهرات المختلفة (انظر جدول 2.14) يسبب هذه التعقيدات ، تدفن الكائنات الدقيقة في بقايا المنتج أو الرواسب ، ويكون هناك احتمال زيادة بقائها حية حتى إذا استخدم مطهر قوي . الكائنات التي عاشت يمكن أن تتكاثر إلى أعداد كبيرة أثناء الفترة بين التطهير والعملية التالية ، ومن الواضح أن التنظيف الجيد يجب أن يسبق أي تطهير ، التنظيف والتطهير المشتركان يمكن أن يستخدما فقط إذا وجد ترسيب مفكك ، الشطف المسبق يزيل أغلبه .

جدول 2.14 خواص بعض المطهرات المستخدمة المعتادة

Table 14.2 Properties of Some Frequently Used Disinfectants

بيروكسي حامض الخليك Peroxy- Acetic Acid	مركبات الأمونيوم الرباعية Quaternary Ammonium compounds	أيودوفورم Iodophors	هيبوكلوريت الصوديوم Na-Hypochlorite	الخاصية Property
				Active Against
++	++	++	++	نشطة ضد البكتيريا موجبة الجرام Gram-Positive bacteria
++	+	++	++	البكتيريا سالبة الجرام Gram-negative bacteria
++	+/-	+	++	الجراثيم البكتيرية Bacterial spores
+	+	++	+	Yeasts الخمائر
++	+/-	+	++	Molds الأعفان
++	+/-	+	++	Bacteriophages اللاقمات البكتيرية
				Activity النشاط
+	++	+	-	عند حمل تربة عالي At high soil load
++	-	-	++	عند درجة حرارة منخفضة At low temperature
++	+/-	++	+	عند أس هيدروجيني منخفض At low pH
+	+	-	+	عند أس هيدروجيني مرتفع At high pH
+	-	+/-	++	في الماء العسر In hard water
				Other Aspects بعض الجوانب
-	-	-	+/-	Toxic سامة
+/-	-	+/-	+	Corrosive تحدث تآكل
-	++	+	-	Foaming تحدث رغوة
Moderate متوسط	متوسط Moderate	High عالي	Low قليل	Price الثمن

لاحظ ، ++ قوي ، + معتدل ، -/+ تعتمد على الظروف ، - قليل أو لا يوجد .

a لأغلب الأجزاء من البيانات بواسطة B.R. Cords et al. انظر المراجع المقترحة .

Note: ++ = strong; + = reasonably; +/- = depends on conditions; - = little or not.

a. For the most part from data by B.R. Cords et al.; see suggested literature.

تزال أغلب الكائنات الدقيقة أثناء التنظيف ، وبالإضافة إلى ذلك فإن لبعض مواد التنظيف مثل محاليل القلوي القوي وحامض النيتريك تأثيراً مطهراً . وطبقاً لذلك تحتاج خطوة تطهير منفصلة فقط إذا بقيت كائنات دقيقة كثيرة بعد عملية التنظيف . يجب أن تطهر الآلات قبل بداية عملية التصنيع وليس بعد التنظيف . وليس هذا ضرورياً في حالات أخرى إذا كان التنظيف مرضياً .

الحرارة أو العوامل الكيميائية يمكن أن تستخدم في التطهير . في الطريقة الأولى يستخدم الماء الساخن أو البخار . ومن المهم أن يحافظ على درجة الحرارة الأدنى على السطح الكلي لوقت كافٍ ، تحدث درجات الحرارة العالية دنترة للبروتينات المتبقية ، وهذه يمكن أن تترسب على الجهاز . قبل التطهير الحراري يظل التنظيف الشديد ضرورياً . التطهير بالحرارة وخاصة بالبخار له فائدة إضافية في تسريع تفريغ وتجفيف الآلة ، وعلى ذلك تقلل من خطورة نمو البكتيريا . بالإضافة إلى ذلك لا تبقي بعد التطهير بالحرارة رواسب مطهرة .

في صناعة الألبان ، محلول مائي من هيبوكلوريت الصوديوم أي NaOCl يكون المادة الكيميائية الأكثر أهمية المستخدمة في التطهير . ويحضر هيبوكلوريت الصوديوم بحقن الكلور داخل محلول هيدروكسيد الصوديوم حسب المعادلة التالية :

$$2NaOH + Cl_2 \rightarrow NaOCl + NaCl + H_2O \qquad (14.1)$$

وفي المحاليل المائية :

$$NaOCl + H_2O \rightarrow NaOH + HOCl \qquad (14.2)$$

$$HOCl \rightleftarrows H^+ + OCl^-$$

HOCl غير المتأينة قاتل للبكتيريا ، درجة تأينه صغيرة للأس الهيدروجيني المنخفض ، ويحدث التأثير القاتل للبكتيريا في حدوده القصوى عند حوالي أس هيدروجيني 5 . إلا أنه عند أس هيدروجيني 5 يكون حامض الهيدروكلوريك غير ثابت ويكون له قدرة كبيرة على إحداث التآكل . وبسبب ذلك محلول هيبوكلوريت الصوديوم المركز يكون ثابتاً بإضافة هيدروكسيد الصوديوم بكميات زائدة لكي تصل إلى أس هيدروجيني قدره من 8 إلى 9 . أثناء التطبيق ، التخفيف بالماء يخفض الأس

الهيدروجيني وعندها يكون العامل القاتل للبكتيريا نشــطاً . وينصـــح بإزالة أي حامض يبقى بعد خطوة التنظيف لأن غاز الكلور يتكون في جو حامضـي غاز الكلور سـام إذا تم اسـتنشـاقه وهو أيضاً له تأثير مسبب للتآكل .

بعض المطهرات الأخرى يمكن أيضـــاً اســـتخدامها . مثل الأيدوفورم والذي ينتج عن التفاعل بين اليود و سـطح نشـط مناسـب . مركبات الأمونيوم الرباعية (مثل NH_4^+) عادة مع Cl والبيرأوكسي حامض الخليك $CH_3-C(=O)-O-OH$ (ويسمى أيضاً حامض البيرأسيتك) . هذه العوامل تختلف في القوة حسب الكائن الحي التي تكون نشطة ضده ، والظروف التي تكون نشطة عندها ، والسمية ، والمقدرة على إحداث التآكل ، والقدرة على عمل رغوة ، تكون الأخيرة مزعجة عندما يستخدم العامل في التنظيف في المكان بطريقة الرذاذ ، يعطي الجدول 2.14 معلومات خاصة . بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) يستخدم خاصة لتطهير مادة معبأة في عملية تعبئة .

لا يجب أن تلوث بقايا المواد المنظفة والمطهرات ، المنتج النهائي ، وتكون خطوة الشـطف النهائية أسـاسـية . بعد العوامل مثل مركبات الأمونيوم الرباعية يمكن أن يحدث لها ادمصـاص على سطوح المعدات ويمكن أن تدخل إلى مثل هذه المتبقيات داخل المنتج .

المراجع المقترحة *Suggested Literature*

مرجع تفسيري لترسيب الخبث والتنظيف

T.J.M. Jeurnink, P. Walstra, and C.G.de kruif, Mechanisms of fouling in dairy processing, Neth. Milk Dairy J., 50. 407-426, 1996.

معلومات تطبيقية كثيرة وخاصة ما يخص العمليات المستخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية .

B.R. Cords, G.R. Dychdala, and F.L. Richter, Cleaning and Sanitizing in milk production and processing in: E.H. Marth and J.L. Steele, Eds., Applied Dairy Microbiology, 2nd ed., Chapter 14, Dekker, New York, Pp. 547-585, 2001.

15 التعبئة *Packaging*

تعد التعبئة خطوة عملية أساسية في صناعة معظم الأغذية المصنعة . والأهداف الرئيسية للتعبئة هي :

1. الاحتواء Containment ؛ أي فصل الغذاء عن الوسط المحيط به ويشمل تجزئة المنتج إلى وحدات يمكن تناولها أثناء التوزيع ، التخزين ، النقل ، والاستخدام النهائي . وهو يمنع تلوث البيئة بمواد الغذاء التي يمكن أن تسبب مشاكل صحية . وهو يضمن عادة وحدة وكمية المحتويات .
2. حماية المنتج من التأثيرات الخارجية : وهذا يتضمن منع التلوث بالكائنات الدقيقة والمركبات الكيميائية (مثلاً الأكسجين والمركبات المسببة للنكهة) أو جزيئات الأوساخ وأبعاد الإشعاع ، وخاصة الضوء . عادة تكون التعبئة جزءاً أساسياً من طرق حفظ الطعام . تقتضي الحماية أيضاً منع (أو التقليل من) فقد المكونات مثل الماء ومواد النكهة إلى البيئة المحيطة .
3. الملاءمة للمستهلك : نقطة واضحة هي أنه يجب أن يكون من السهل فتح العبوة وغلقها ثانية . من المهم العمل على تقليل التلوث بعد أخذ جزء من العبوة وسهولة رص وترتيب العبوة . التعبئة في في حيز ضيق يكون ملائماً لهؤلاء الذين يحتاجون قليلاً من الغذاء كل يوم . يمكن في نظام التعبئة الحديثة عادة توزيع الغذاء الذي يكون جاهزاً للأكل (مثل الحلوى اللبنية) أو التي تحتاج فقط إلى تحضير قليل (مثل التسخين في العبوة) قبل تناولها .
4. تقديم معلومات : وهذه يمكن أن تكون معلومات واقعية تخص جودة المنتج ، مكوناته ، القيمة الغذائية ، مدة الصلاحية (موعد انتهاء صلاحيته للاستهلاك) ، طريقة الحفظ ، وكيف يتم تداول المنتج وغيرها . بالإضافة إلى ذلك يمكن طبع عدة وسائل تسويقية على بطاقة التغليف عن اسم العلامة التجارية ، الاستخدامات الممكنة للمنتج (خطوات التحضير)

والفوائد المحتملة الناجمة عن اســتهلاكه . بعض الجوانب التي تتعلق بالبندين الأولين ســوف نناقش مع بعض التركيز على تعبئة المنتجات اللبنية السائلة .

1.15 نظم التوزيع *Distribution Systems*

وهذه تختلف اختلافاً بيناً ، حسب نوع المنتج والممارسات المحلية والتسهيلات . يمكن أن يباع اللبن ومنتجاته اللبنية غير معبأ ، المنتج يمكن أن يحفظ في وعاء ضخم والكمية المطلوبة تصب في وعاء أصغر خاص بالمستهلك . تعتبر طريقة رخيصة بالنسبة للعمليات التصنيعية ومواد التعبئة ، ولكنها كثيفة العمالة . ومن أهم عيوب هذه الطريقة هو التلوث بالكائنات الدقيقة ويكون من الصعب تجنبه . اللبن الملوث سوف يفسد بسرعة ويمكن أن يحتوي على مسببات مرضية وينصح بغلي اللبن وتنظيف الوعاء .

التعبئة في أوعية زجاجية لها ميزة في أن الزجاجات يمكن أن تســتخدم أكثر من مرة ، ولكن عيوبها هي رجوعها ســليمة بعد تنظيفها وإعادة فحصــها وتحديد صــلاحيتها ، يحتاج لعمالة وتعتبر مكلفة . وزن الزجاجات الزائد يمكن أن يكون عيباً مقبولاً في حالة التوصيل للمنازل .

معظم اللبن يوزع في أوعية خدمة مفردة ، تصــنع أوعية المنتجات اللبنية المعمرة من رقائق من مادة القصــدير أو مواد صــناعية أخرى . للمنتجات ذات العمر المتوســط تصــنع العلبة من البلاســتيك أو رقائق الكرتون وقد تشــكل على هيئة أو أكياس أكواب صــغيرة . المحتويات يمكن أن تتراوح بين حوالي 10 مليلتر (كريم القهوة) إلى 3785 مليلتر (لبن شــرب في بعض البلدان) .

عامل متغير آخر هو الحاجة للتسخين تحت ضغط في جو رطب سواء كان المنتج المعلب ثابتاً بصــورة كافية أو مازال يحتاج إلى عمليات تصــنيعية (مثل التبريد ، التعقيم والخض) أو التحول إلى منتج آخر (مثل تخمر حامض اللاكتيك ، عادة مع ثاني أكســيد الكربون) في زجاجات أو في

علب . وغالباً ما تطبق على منتجات معبأة في أوعية زجاجية أو بلاستيكية أو في علب تغلق بإحكام تحت تسخين محسوب .

ويظل هناك متغير آخر وهو المرحلة التي عندها تتم عملية التعبئة . قارن مثلاً استخدام العبوة مسبقة التحضير والتي تحتاج فقط إلى أن تكون مغلقة بعد التعبئة (عبوة زجاجية ، علبة ، بعض العبوات المصنوعة من الكارتون وعبوات بلاستيكية) بعبوة تصنع وتعبأ في الحال (علب من الكارتون ، نفخ العبوات من الباثق البلاستيكي ، وضغط الأكواب البلاستيكية ورقائق الألومونيوم) . في نظام واحد تتكون اسطوانة رأسية من مادة تعبئة ذات صفائح رقيقة (من الكارتون أو الألمونيوم) ، تزود باللبن وتسحب بسرعة لأسفل .

تفعل وتقطع أنبوبة التعبئة المتحركة عند مسافات منتظمة بحيث تتكون عليه رباعية السطوح أو عبوة على شكل كتلة مستطيلة مضغوطة أثناء التعبئة . هناك احتياطات خاصة يمكن أن تؤخذ في الاعتبار لمنع التلوث الميكروبي (تعبئة معقمة) .

ويتوقف الاختيار التصنيعي لنظام تعبئة معين على معرفة الاحتياطات الخاصة للعبوة ، وأي من العمليات التصنيعية أكثر ملاءمة للعملية كلها ، ومدى الاعتماد عليها وتكلفتها . ومن بين الجوانب الهامة الأخرى التلوث البيئي ومحظورات استخدام العبوات غير القابلة لإعادة تدويرها .

2.15 مواد التعبئة *Packaging Materials*

تستخدم مواد مختلفة عديدة المدى الذي تبنى فيه الاحتياجات المختلفة والمتطلبات وسوف تناقش باختصار . بعض الخواص تم سردها في جدول 1.15 . تكون البيانات المستخدمة عالية التقريب لأنها يمكن أن تختلف بشكل واسع حسب المكونات الدقيقة وطريقة التصنيع . مواصفات مواد التعبئة التالية لا يمكن استنفادها .

جدول 1.15 خواص بعض مواد التعبئة

Table 15.1 Properties of Some Packaging Materials

Fat	Permeability to CO_2 10^{-18}kg. $m^{-1}.s^{-1}.Pa^{-1}$	O_2	H_2O 10^{-12}kg. $m^{-1}.s^{-1}$	Transparency	Resists freezing	Resists sterilization	Sealability	Flexibility	Strength	Material
0	0	0	0	Clear	No	Yes	-	0	Brittle	Glass
0	0	0	0	0	Yes	Yes	-	Small	Great	Tinplate
0	0.003	0.002	<0.1	0	Yes	Yes	Not	++	+++	Aluminum foil
Great	Great	Great	Great	+	Yes/no	No	Not	++	++	Paper or cardboard
tr	10	1	100	Clear	Yes	No	Good	+++	++	Cellophane
tr	0.1	0.1	1	Clear	Yes	No	Good	+++	++	Coated cellophane
+++	200	40	4	+++	Yes	No	Good	+++	+	Polyethylene, L.D.[a]
++	50	10	1	+++	Yes	No	Good	++	++	Polyethylene, H.D.
++	10	1	10	Clear	No	No	Fair	++	++	Polyvinyl chloride
Tr	1	0.3	40	Clear	Yes	Yes	Poor	++	++	Polyamide (nylon)
Tr	2	0.3	5	Clear	Yes	Yes	Good	++	+++	CPET[b]
	50	10	500	Clear	Yes	Yes	Not	+	+++	Polycarbonate
++	100	20	3	Clear	No	Yes	Depends	Depends	+++	Polypropylene
++	100	20	30	+++	Yes	No	Not	+	+++	Polystyrene

ملاحظة : 10^{-12} كيلوجرام . $S^{-1}.m^{-1}$ تعادل 3.5 جرام $d^{-1}m^{-2}$ عند سمك طبقة قدره 25 ميكرومتر ، 10^{-18} كيلوجرام . $pa^{-1}S^{-1}m^{-1}$

تعادل 0.35 جرام . $d^{-1}m^{-2}$ عند فرق ضغط قدره واحد بار وطبقة سمكها 25 ميكرومتر

L.D[a] كثافة منخفضة ، H.D كثافة مرتفعة .

CPET[b] بولي إيثلين تيريفثالين متبلور .

Note: 10^{-12} kg.m^{-1}.s^{-1} corresponds to 3.5 g-m^{-2}.d^{-1} at a layer thickness of 25 µm; 10^{-18} kg.m^{-1}.s^{-1}.Pa^{-1} corresponds to 0.35 g.m^{-2}.d^{-1} at a pressure difference of 1 bar and a layer thickness of 25 µm.

a. L.D. = low density; H.D. = high density.

b. CPET = crystalline poly (ethylene-terephthalate).

القدرة على القيام بالعملية التصـنيعية Process ability : يجب معرفة هل المادة هشـة ، سـريعة الكسـر ، لينة سـهلة الطي أو يمكن تشـكيلها في قالب ؟ هل هي متوفرة بالسـمك المطلوب (مثل السـلوفان الذي يمكن فقط اسـتخدامه على شـكل رقائق) ، هل هي مناسـبة لعملية القفل (خاصـة بواسـطة القفل الحراري) ؟ أو هل هي مناسبة لتكون صـفائح رقيقة (سـريعة الالتصـاق) ؟ هل هي قابلة للتنظيف والتعقيم ؟ هل هي مقاومة لدرجة الحرارة العالية أثناء تعقيم الزجاجات ؟

المقاومة Resistance : هل المادة تقاوم التحطيم ؟ بكلمة أخرى هل هي قوية بشكل كافٍ (وهذا يعتمد كثيراً على سمكها) وتقاوم البلى wear resistant ؟

هل تسـتطيع مقاومة تغيرات وتذبذبات الضـغط ودرجة الحرارة أثناء التعقيم والتجميد (بعض المواد البلاستيكية تصبح هشة عند درجة حرارة منخفضة) أو مكونة للغاز ؟ هل هي مقاومة للجو الرطب ، هل تصـبح لينة ؟ هل يظهر عليها تقادم سـريع ؟ تصـبح بعض المواد البلاسـتيكية ضعيفة وهشة عندما تتعرض للضوء .

النفاذية Permeability

لا يسـمح للبكتيريا بالنفاذ على شـرط أن تكون العبوة مقفلة بالكامل . يمكن أن يكون مرور مادة من خلال مادة التعبئة بالانتشـار وبالتالي يعتمد كثيراً على ذوبان هذه المواد في المادة . تكون كمية المادة النافذة عامة متناسبة لمساحة التلامس ، الوقت ، وفرق التركيز (للغازات عادة يعبر عنها بفرق الضغط) ، ويتناسـب تناسباً عكسياً مع سمك المادة (انظر المعادلة 4.12) . وبالتالي يمكن أن يعبر عن النفاذية بالكيلوجرام $Pa^{-1}.S^{-1}.m^{-1}$. أمثلة تم توضـيحها في جدول 1.15 عندما نأخذ في الاعتبار نقل الماء ، فقد الماء في الهواء لرطوبة نسـبية معينة (عادة 85%) تؤخذ عادة كأسـاس . يمكن أن تعتمد النفاذية كثيراً على مكونات المادة بالضـبط . قارن مثلاً البولي إيثلين ذو الكثافة

العالية والمنخفضة ، يكون الأول أكثر تماسكاً نتيجة لنسبة السلاسل غير المتفرعة الكبيرة . تزيد المواد البلاستيكية عادة معامل الانتشار ، والمحتوى من المادة البلاستيكية يمكن أن يختلف بشكل واسع . تكون أغلب المواد البلاستيكية كارهة للماء ، وعلى ذلك فنفاذيتها تكون كبيرة للمركبات الكارهة للماء (مثل الدهون) . قارن أيضاً نفاذية ثاني أكسيد الكربون والأكسجين في جدول 1.15 .

تعتمد النفاذية أيضاً على درجة الحرارة (T) . تزداد في أغلب المواد النفاذية بازدياد درجة الحرارة T لأن معامل الانتشار يميل إلى الزيادة . ومن جهة أخرى ، تكون النفاذية لمركب كيميائي معين متناسبة مع ذوبانيته في مادة التعبئة ، والذوبانية إما أن تزداد–لأغلب الغازات ، أو تنقص كلما زادت درجة الحرارة T ، وعلى ذلك يكون من الصعب أن تتنبأ باعتماد النفاذية على درجة الحرارة .

لا تطبق العلاقة السابقة عادة ، إذا أصبحت الطبقة رقيقة جداً (مثلاً 25 ميكرومتر أو أقل) ، لأن مثل هذا الغشاء الرقيق يمكن أن يحتوي على ثقوب . رقائق الألمونيوم مثال جيد لأن نفاذية الألومونيوم لأغلب المواد يكون فعلياً صفر . ولكن أي ثقوب موجودة تسبب مشاكل ، تزداد أعدادها مع نقص سماكة رقائق الألومنيوم وتعتمد على عملية الإنتاج وفي المداولة في الألبان وخلال التوزيع وغيره .

تعتمد نفاذية مواد التعبئة طبيعياً على السمك ، عادة تستخدم الأوعية التي تتكون من طبقات من مواد مختلفة مثل صفائح الألمونيوم Laminated foils إذا كانت النفاذية لمكون معين في مادة التعبئة ذات سمك معين ويرمز لها بالرمز b (وتميز مثلاً بالكيلوجرام . متر$^{-2}$. ثانية$^{-1}$) ، يمكن حساب النفاذية الكلية للصفائح من $1/b_{total} = \sum(1/b_i)$.

يعتمد خروج المكونات من المادة داخل الغذاء على نوع الغذاء (أس هيدروجيني ، وجود الدهن، وهكذا ...) وعلى درجة الحرارة . يمكن أن يطلق البلاستيك مواد بلاستيكية ، إذا ظل موجوداً ، خاصة إلى المنتجات ذات الدهن العالي . تستطيع العلب إطلاق القصدير والحديد ،

وبسبب ذلك ، تطلى دائماً الصفائح بالقصدير ، أو تزود بطبقة من البلاستيك . يمكن أن يطلق الكرتون غير المغطى مواد عديدة داخل اللبن . عادة تطبق شروط قانونية على إطلاق عدة مكونات .

العزل الحراري Heat Insulation : غالباً العزل الجيد للعبوة غير مرغوب فيه ، لأن بعد التعبئة يجب تطبيق التسخين أو التبريد . وبالرغم من أن أغلب المواد البلاستيكية لها توصيل حراري ضعيف ، الطبقة عادة تكون رقيقة جداً لتحقيق عزل مرضى . إذا كان العزل مطلوباً يستخدم البولي ستيرين الممتد (رغوة البولي ستيرين) .

نفاذ الضوء Light Transmission : في كثير من عبوات الأغذية الشفافة يكون من المرغوب فيه أن المستهلك يمكن أن يرى محتوياتها . عيوب المنتجات اللبنية هو أن الضوء يسرع تكون النكهة . الكرتون وضوء الشمس والأكسدة أو نكهة التلوين يمكن أن تنتج النكهة . الكرتون ليس شفافاً ولكن بالتأكيد ليس منفذاً للضوء . يمكن أن يكون الزجاج بني اللون ، (الضوء ذو الطول الموجي القصير هو الأكثر خطورة) ولكن الزجاج البني عادة ما يعتبر غير جذاب .

معظم المواد البلاستيكية تكون شفافة ، المواد المالئة Fillers يمكن أن تستخدم لكي تعطي اللون يستخدم أكسيد القصدير TiO_2 غالباً ليعطي اللون الأبيض . بصمة المادة تكون عادة هامة للعملية التجارية .

المواد الصفائحية Laminates سوف يكون واضحاً أن مادة تعبئة واحدة لا تفي بكل المتطلبات ، وبسبب ذلك تستخدم المواد الصفائحية . في كرتون اللبن تتوفر المتانة والتحمل ويمكن أن نجد من الخارج إلى الداخل أن :

بولي إيثلين : طارد للماء .

الورق : للطباعة .

الكارتون : للصلابة والتثبيت .

البولي إيثلين : لعمل كرتون ملتصق بالألمونيوم .

الألمونيوم : ضد مرور الضوء وكل المواد الأخرى .

بولي إيثلين : للغلق الجيد ، وهذا يعني ملأ العبوة بواسطة الضغط أثناء التسخين .

تكون كل الطبقات رقيقة للغاية (أي 20 ميكرومتر ، وتكون مع رقائق الألمونيوم أكثر رقة ماعدا بالنســـبة للكرتون ، تزن عبوة لتر واحد حوالي 25 جرام ويتراوح وزن عبوة زجاجية بين 400 و600 جرام .

3.15 عمليات ملأ العبوة ***Filling Operation***

هناك طرق مختلفة لملأ العبوة بكمية معينة من السائل . الوزن نادراً ما يستخدم . العبوات عادة ما تملأ إلى مستوى معين ، ولكن للمنتجات عالية اللزوجة يجب استخدام مضخة قياس ، لفة أو لفات قليلة للمكبس تحدد كمية المنتج المباعة ، دون الاعتماد على لزوجة المنتج . في بعض الأحيان ، يمكن أن تسبب خطوة الملأ نفسها مشاكل لأن معدلات الإجهاد العالية المستخدمة يمكن أن تغير من تماســـك المنتج ، الذي يصـــبح دقيقاً للغاية . وعلى ذلك تكون ماكينات الملئ عالية السرعة غير مناسبة للمنتجات مثل الزبادي والكسترد .

للمحافظة على نوعية المنتجات اللبنية يكون مدى التلوث بالبكتيريا أثناء التعبئة أساسياً . يمكن أن تؤدي احتياطات بسيطة إلى نتائج حقيقية . ولكن التعبئة المعقمة تكون صعبة المنال . يجب تجنب التلوث إذا ســـخن المنتج قصـــير العمر قبل التعبئة . وطبقاً لذلك يجب أن يتم اســـتبعاد الكائنات الدقيقة الممرضـــة من المادة المعبئة . يمكن أن تحتوي على قليل من البكتيريا التي استطاعت النمو أثناء التخزين ، سوف تمنع عينات قياسية مرضية أثناء التصنيع والنقل والتخزين مشاكل كثيرة ، لأن المواد المستخدمة تكون مواد بادئة فقيرة لنمو الكائنات الدقيقة . بالإضافة إلى ذلك تستخدم درجات الحرارة العالية وماء قليل أثناء تصنيع مادة التعبئة .

التعبئة المعدة لاستخدام متكرر : يجب أن تنظف (الزجاجات) جيداً قبل تعبئتها يجب أن تفحص بعد التنظيف لإزالة الزجاجات القذرة والمعطوبة . ومن المعلوم أن المستهلكين يمكن أن يستعملوا زجاجة لبن لاستخدامات أخرى أو يدخلوا فيها أشياء يصعب إزالتها ، وهذا يشكل خطورة ولكن لا ينتج عند ذلك خطورة صحية محسوسة . بعد التنظيف ، تعقم العبوة بمحلول هيبوكلوريت الصوديوم به 10 جزء في المليون كلور نشط إذا لم يعاد تخسين المنتج اللبني ، العد البكتيري يجب ألا يتعدى 50 لكل زجاجة . إذا سخن المنتج بعد التعبئة فإن مادة التعبئة تسبب مشاكل بكتيرية طفيفة . نقطة أساسية هي أن نظام القفل الذي به تسريب نتيجة للفرق في الضغط الذي يحدث أثناء التبريد ، يجب أن يمنع .

في تعبئة معقمة لمنتجات طويلة العمر ، فإن فساداً لأقل من واحد في 10^5 أو أقل يمكن أن يعتبر مقبولاً ، يجب أن تعقم الأنابيب وصهاريج التخزين ، وأسطح آلات التعبئة التي تتلامس مع المنتج وكذلك مواد التعبئة . اتضح أن الورق المكون من رقائق يحتوي على 10 كائنات حية لكل 100 سنتيمتر مربع ، من بينها 3% جراثيم . السطح الداخلي للتر واحد كارتون هو حوالي 800 سنتمتر مربع وسوف يكون ملوثاً بحوالي 2.5 جرثومة . هذه الجراثيم هي الأكثر مقاومة للحرارة ، وعلى ذلك يجب أن يكون عددها منخفضاً لأقل من 10^{-5} لكل عبوة، بالإضافة إلى ذلك يجب أن تكون العبوات معقمة ومقفولة ، الضغط عالٍ يستخدم عادة الهواء المعقم .

يجب أن تعقم مادة التعبئة لكي لا تفسد ، غالباً ما يكون التعقيم بالبخار أو الماء الساخن غير ممكن . في أغلب الحالات يتم التعقيم بمحلول ساخن (60 إلى 80 درجة مئوية) به تركيز (20 إلى 35%) من فوق أكسيد الهيدروجين . يستخدم هواء ساخن (أعلى من 100 درجة مئوية) يمكن أن يزيل رواسب H_2O_2 ويقدم تأثير معقم إضافي . من مميزات H_2O_2 عن بقية السوائل المطهرة هو أنه لا يسبب مشاكل خطيرة بالنسبة للرواسب المتبقية في اللبن . التطهير باستخدام الغازات مثل أكسيد الإيثلين لها قوة جراثيم ضعيفة ويمكن فقط أن يستخدم إذا كان وقت التفاعل الطويل (عدة ساعات) ملائماً . ولأن مصادر ضوئية مناسبة قد تطورت ، فإن

التعقيم بواسطة الأشعة فوق البنفسجية قد أصبح ممكناً ، خاصة لمواد التعبئة والآلات التي تكون أقل استعداداً للتعقيم بواسطة H_2O_2 . تستخدم أشعة بنفسجية ذات طول موجي 200 إلى 280 nm في عملية التعقيم . إذا التصقت حبيبات الغبار بمادة التعبئة ، فإن فوق أكسيد الهيدروجين ينتج تأثيرات أفضل نتيجة تأثير الشطف ، بينما الأشعة فوق البنفسجية سوف تكون أقل فاعلية نتيجة لوجود الجزيئات الساترة . تستخدم تقنيات الغرفة النظيفة Clean-room techniques مع التشعيع في بعض الحالات .

العبوة المعقمة يجب فحصها وكذلك المنتج المعبأ وجميع الخطوات السابقة والعوامل الميكانيكية والتي تعتبر حوامل محتملة لمسببات الأمراض . إذا وصلت بكتيريا واحدة للمنتج ، وكانت هذه البكتيريا مسببة للمرض واستطاعت أن تتكاثر (مثل ستافيلوكوكس أوريس *Staphylococcus aureus*) فأن النتيجة تكون كارثية ، بالإضافة إلى ذلك يجب أخذ عينات منتظمة أثناء الإنتاج ، وعينات إضافية عند أوقات أو أوضاع معروفة بأنها متصلة بزيادة مخاطر التلوث . وينصح بتحضين هذه العينات مدة طويلة كافية ، في أغلب الحالات تكون من 5 إلى 7 أيام عند درجة حرارة 30 درجة لكي تسمح بنمو البكتيريا إلى أعداد محسوسة . يجب أن لا يطرح المنتج في الأسواق إلا إذا كانت نتائج حياته على الرف مرضية (فترة صلاحيته مقبولة) .

مراجع مقترحة *Suggested Literature*

دراسة شاملة عامة عن تعبئة الغذاء :

G.L. Robertson, Food Packaging Principles and Practice, Dekker, New York, 1993.

وهذا الكتاب يحوي فصلاً عن المنتجات اللبنية .

تغليف المنتجات اللبنية :

Technical Guide for the Packaging of Milk and Milk Products, IDF Document 143,1982.

Part III   الجزء الثالث

Products   المنتجات

16 استهلاك اللبن السائل *Milk for Liquid Consumption*

يباع اللبن السائل للمستهلك بعد معاملات حرارية مختلفة . وعلى العكس من ذلك لا يباع اللبن الخام سواء أكان معقماً أم مبستراً معبأً أو غير معبأ . والشروط الواجب توافرها في اللبن السائل هو أن يكون آمناً وذا نكهة وأن تكون مدة صلاحيته غير منتهية . ويمنع اللبن الخام من البيع للمستهلك في بلدان كثيرة ، وبالمثل فإن بيع اللبن السائل غير معبأ يمكن أن يشكل خطراً للصحة العامة .

تعتمد الأهمية النسبية لنوعيات لبن أخرى على نوعية الاستخدام . يستهلك اللبن كمشروب ، لا يفضل المستهلكون في هذه الحالة النكهة المطبوخة . ولذلك فإن البسترة المنخفضة تفضل عادة . يستخدم البعض اللبن مع القهوة أو الشاي . وفي الطعام وعمل الخبز وغيرها ، حيث تغيب النكهة المطبوخة التي لا تكون ضرورية عادة . ولكن مدة الصلاحية يمكن أن تكون أكثر أهمية من نوعية اللبن ولذلك يفضل اللبن المعقم . والبعض يستخدم اللبن المحفوظ مثل اللبن المبخر ، واللبن المجفف أو اللبن المكثف المحلى .

يمكن أن يختلف اللبن السائل في المكونات . ويتم ضبط المحتوى الدهني عادة عند قيمة قياسية قريبة مما هو موجود في اللبن الخام ، ولكن اللبن قليل الدسم واللبن الفرز يباع أيضاً . ويستخدم عادة لبن به مواد صلبة غير دهنية أو بروتين كمواد مضافة . وهناك احتمال آخر ، وهو المحافظة على مستوى بروتيني معين وذلك باستخدام الترشيح الفائق . ولكن في أغلب البلدان توجد تشريعات قانونية تحدد الحد الأدنى للمواد الصلبة غير الدهنية أو المحتوى البروتيني .

وقد تمت مناقشة الجوانب الأساسية للعمليات المستخدمة. انظر الفصل السابع خاصة .

1.16 اللبن المبستر *Pasteurized Milk*

يجب أن يكون مشروب اللبن المبستر آمناً للمستهلك وله فترة صلاحية تقدر بأسبوع أو أطول عندما يحفظ بارداً في الثلاجة . تحيد النكهة ، القيمة الغذائية ، وخواص أخرى قليلاً عن اللبن الخام الطازج .

يمكن أن تكون الملوثات التالية أساساً ضارة للمستهلك :

- الكائنات الدقيقة الممرضة ، والتي يمكن أن تكون في اللبن حينما يكون في الضرع ، أو تكون مندمجة معه أثناء أو بعد الحلب . أغلبها لا تستطيع البقاء في اللبن المبستر ، ولكن يمكن أيضاً أن تدخل المنتج بإعادة تلوثه .
- المواد السامة التي تناولتها البقرة (مع العلف) وتدخل اللبن أثناء تصنيعه .
- المضادات الحيوية المستخدمة في علاج ضرع البقرة .
- المطهرات المستخدمة في المزرعة أو في النبات .
- السموم البكتيرية المتكونة أثناء الحفاظ على اللبن .
- سموم أخرى تدخل اللبن بواسطة التلوث أثناء أو بعد الحلب .
- نيوكليتيدات مشعة .

يمكن أن تقتل كائنات دقيقة معدية بالمعاملة الحرارية . أغلب الملوثات الكيميائية لا يمكن إزالتها بهذه الطريقة . إن من الواضح ، الإدارة الصحية للماشية والطرق السليمة لجمع وتداول اللبن تكون ضرورية لمنع المخاطر الصحية . يجب إجراء فحص منتظم للتأكد من غياب الملوثات .

بالنسبة لفترة الصلاحية والأمان في اللبن ، تفرض أغلب البلدان تشريعات قانونية للأعداد القصوى للكائنات الدقيقة (عد المزرعة) ، وبكتيريا القولون ، وغياب إنزيم الفوسفاتيز القاعدي . ولكي تتحقق هذه المتطلبات ، يجب ألا يحتوي اللبن الأصلي على كثير من البكتيريا المقاومة للحرارة (فصل 5) ، يجب أن تفحص خطوة البسترة بواسطة تسجيل درجة الحرارة أو باستخدام

صمام تحويل التدفق ، وتلوث اللبن المبستر بواسطة الكائنات الدقيقة (أو باللبن الخام) يجب التقليل من حدوثه .

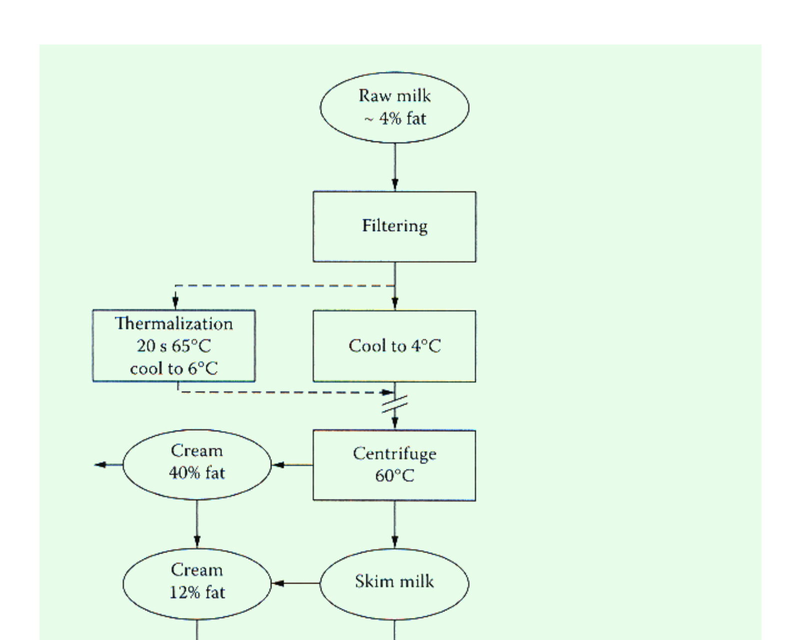
تكون طبقة القشدة أقل تفضيلاً ، خاصة عندما تستخدم التعبئة غير الشفافة للمنتج . ويمكن منعهما بالتجنيس . ويجب أن تحور شدة التجنيس لتجنب تحلل الدهن . وكلما كانت المعاملة الحرارية أكثر شدة ، فإن نكهة اللبن تزداد كثيراً عن الموجودة في اللبن الخام.

1.1.16 التصنيع *Manufacture*

شكل 1.16 يقدم مثالاً لتصنيع اللبن المبستر للبن السائل المخصص للاستهلاك . انظر أيضاً شكل 17.7 .

وقد تمت مناقشة أهمية المعاملة الحرارية لمنع تكسير الدهن والبروتين بواسطة الإنزيمات المقاومة للحرارة للبكتيريا المحبة للحرارة في الفصل 7 (انظر أيضاً تحت فصل 4.6) . ولكن كقاعدة ، يكون وقت الاحتفاظ باللبن المبستر قصيراً للغاية نتيجة لتحلل ملحوظ بواسطة هذه الإنزيمات ، إلا إذا احتوى اللبن الأصلي على عدد بكتيري عالٍ من البكتيريا المحبة للحرارة . بالإضافة إلى ذلك ، تسبب المعاملة الحرارية عند درجة حرارة عالية (أي 20 ثانية عند درجة حرارة 67.5 درجة مئوية) تثبيطاً ملموساً لليبيز اللبن (حوالي 50%) ويسمح بدرجة حرارة بسترة منخفضة عند تصنيع اللبن المجنس . بالرغم من هذه المميزات الواضحة للمعاملة الحرارية ، تبرد مصانع الألبان عادة اللبن (لكي تقلل من التكلفة) وتخاطر باحتمال وجود بعض النموات للبكتيريا المحبة للحرارة .

نحتاج عملية فصل لضبط محتوى الدهن المطلوب . وإذا حذفت عملية التجنيس فإن جزءاً فقط من اللبن سوف يكون منزوع الدسم ، بينما يجب أن يتأثر حجم اللبن الفرز المتكون بتقييس اللبن .



شكل 1.16 مثال لتصنيع لبن مبستر مجنس للشرب

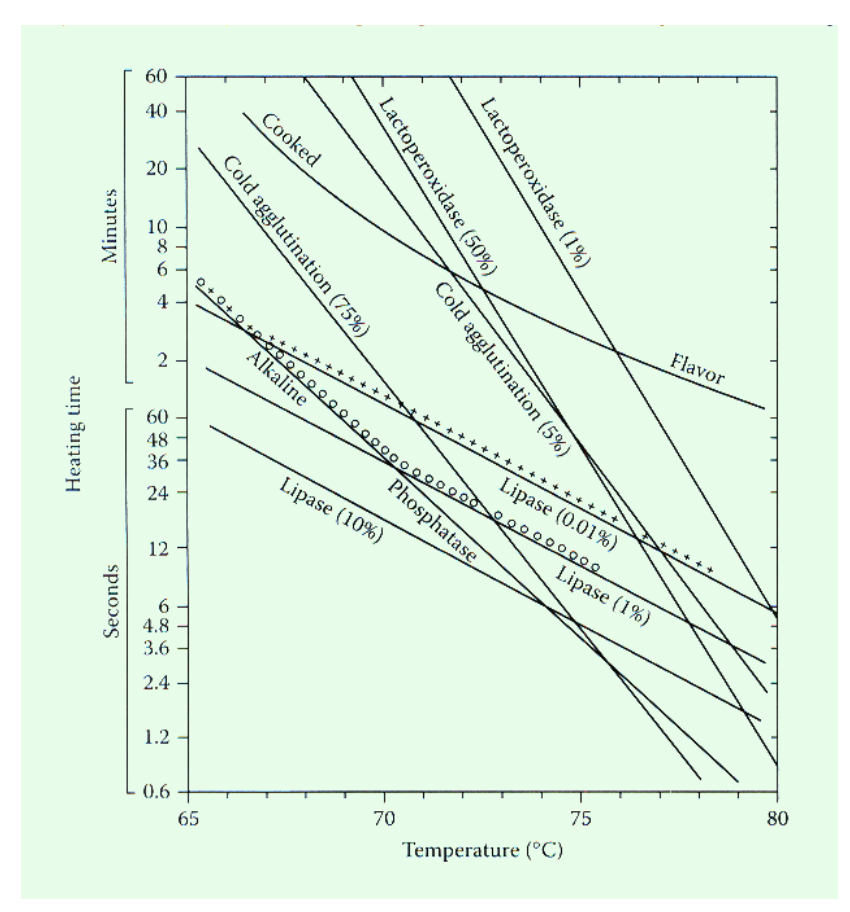
Figure 16.1 Example of the manufacture of homogenized, pasteurized beverage milk

يؤدي التجنيس إلى منع تكون طبقة القشـــدة في العبوة أثناء التخزين . مســـتهلكون كثيرون لا يحبون هذه الطبقة . في البسترة المنخفضة للبن (إنزيم الفوسفاتيز القاعدي مثبط) ، توجد طبقة قشدة مفككة وهي شكل من أشكال كريات دهن ملزنة تستطيع الاختفاء بسهولة خلال اللبن . في اللبن عالي البســترة ، التلزن البارد يثبط وطبقة القشـــدة تتكون ببطء ولكن بعد ذلك تتكون طبقة متجمعة يصعب انتشارها . يمكن أن تنتج سدادة من القشدة الصلبة من الالتحام الجزئي لكريات الدهن . وعلى ذلك فإن ، هذا اللبن عادة ما يجنس . وقاعدة ، لا يجنس كل اللبن ولكن الجزء المحتوي على القشـــدة فقط لكي تخفض التكلفة . ومن الواضـــح ، أن كل اللبن يجب فصله بعد ذلك .

يجب أن تختفي العناقيد بعد التجنيس ، وعلى ذلك ، يجب أن يكون محتوى الدهن من القشـــدة منخفضـــاً (10% إلى 12%) ودرجة حرارة التجنيس لا تكون منخفضـــة جداً ($\geq 55 C^{\circ}$) ، بالإضـــافة إلى ذلك ، يجب أن تطبق مرحلتان للتجنيس (انظر فصـــل 9) . عادة ، تســـبق خطوات التجنيس عملية البســترة لكي تقلل من خطورة إعادة التلوث . ولأن ليبيز اللبن مازال موجوداً ، فإن اللبن يجب أن بستر فوراً .

تبقى كمية من القشـــدة بعد التجنيس الجزئي للبن نتيجة للتخثر على البارد . لا تكون هذه النتائج من التخثر في اللبن الفرز بعد الفصل الدافئ مثبطة تماماً بواسطة البسترة المتتالية (انظر شكل 2.16) . بالرغم من نسبة التخثر المنخفضة لمساحة سطح الدهن . فإن كريات الدهن يمكن أن تتخثر إذا احتوى اللبن الخام على كثير من الأجلوتينن .

اللبن المجنس لـه قـابليـة كبيرة لتكون الرغـاوي خـاصـــة عنـد درجـة حرارة منخفضـة . التقييس Standardization بالنسبة للمحتوى الدهني تم مناقشته في الفصل 5.6 . ويمكن عمله بإضـــافة اللبن الفرز (أو القشـــدة) إلى اللبن في خزان التخزين أو بواســـطة التقييس المستمر .



شكل 2.16 وقت المعاملة الحرارية التي يحتاجها اللبن للحصول على تأثيرات معينة كدالة لدرجة الحرارة : تثبيط إنزيم الفوسفاتيز القاعدي لدرجة عدم إمكانية تقديره ، تثبيط الليبيز الليبوبروتين ، التخثر البارد ، وإنزيم اللاكتوبيروكسيديز ، وتكون نكهة مطبوخة ملموسة . الأشكال في المنحنيات تشير إلى نسبة النشاط التقريبي الموجود . تم توضيح الحدود الدنيا للبسترة المنخفضة للبن غير المجنس (0 0 0 0 0) وللبن المجنس (+ + + + +)

Figure 16.2 The heating time of milk needed to obtain certain effects as a function of temperature: inactivation of alkaline phosphatase to become 'nondetectable'; inactivation of lipoprotein lipase, cold agglutination, and lactoperoxidase; and generation of a noticeable cooked flavor. The figures on the curves denote the approximate proportion of the activity left. Lower limits for low pasteurization of nonhomogenized (OOOOO) and of homogenized (+++++) milk are indicated

تؤكد البسترة الأمان وتطيل فترة صلاحية المنتج . انظر تحت فصل 4.3.7 لميكانيكيات قتل البكتيريا . تقتل المعاملة الحرارية المتوسطة ، أي 15 ثانية عند 72 درجة مئوية جميع مسببات الأمراض التي يمكن أن توجد (وخاصة ميكوباكتيريم تيوبركيلوزس *Mycobacterium tuberculosis* ، والنوع سالمونيللا *Salmonella* spp. ، والايشيريشيا كولاي *E.coli* ، والكامبيلوباكتر جيجيني *Campylobacter jejuni* وليستيريا مونوسيتوجينيز *Listeria monocytogenes*) وتضمن عدم وجود مخاطر صحية . تستطيع بعض الخلايا البكتيرية البقاء حية عند هذه المعاملة الحرارية مثل بكتيريا ستافيلوكوككس أوريس *Staphyliococcus aureus* ، ولكنها لا تستطيع النمو حيث تكون كميات السموم الناتجة غير مسببة لمخاطر صحية .

تثبط مثل هذه البسترة الفوسفاتيز القاعدي لدرجة عدم إمكانية تقديره (يمكن للإنزيم أن يستعاد ببطء تدريجياً بحفظ المنتج لعدة أيام ، ولكن ذلك يكون صحيحاً بالنسبة للقشدة المبسترة) . أغلب الكائنات الدقيقة المسببة للفساد في اللبن الخام ، مثل بكتيريا القولون بكتيريا حامض اللكتيك المحبة للحرارة المتوسطة والعالية تقتل أيضاً بالبسترة المتوسطة . ومن بين هذه البكتيريا التي لا تقتل ، الميكروكوكس المقاومة للحرارة (الأنواع ميكروباكتيريم Microbacterioum) بعض البكتيريا ستريبتوكوكي المحبة للحرارة Streptocci ، والجراثيم البكتيرية . ولكن هذه الكائنات الدقيقة لا تنمو بسرعة في اللبن ماعدا البكتيريا باسيلس سيرس *Bacillus cereus* . وتكون البكتيريا الخيرة مسببة للمرض إذا وجدت بأعداد كبيرة ، ولكن قبل ذلك فإن هذا اللبن لا يكون صالحاً للشرب بسبب نكهته غير المقبولة .

بين التحللات الإنزيمية غير المرغوب فيها التحلل الدهني (الذي يسببه إنزيم الليبيز البروتيني الدهني الموجود في اللبن الطبيعي Natural milk lipoprotein lipase) تكون له أهمية خاصة . يوضح شكل 2.16 العلاقات درجة الحرارة– الوقت التي تنقص نشاط الإنزيم إلى 10^{-1} و 10^{-2} و 10^{-4} على التوالي . يكون اللبن المجنس حساساً لدرجة حرارة عالية للتحلل الدهني بسبب مادته

البادئة المتاحة ، وعلى ذلك ، يجب أن يسـخن بشـدة (أي لمدة 20 ثانية عند درجة 75 درجة مئوية) لكي تقلل نشـاط إنزيم الليبيز إلى 10^{-3} أو 10^{-4} . انخفاض إلى 10^{-2} يكفي بالنسـبة للبن غير المجنس والذي يتطلب التسخين لمدة 15 ثانية عند 72.5 درجة مئوية . البلازمين Plasmin لا يثبط بواسطة البسترة (انظر شكل B 9.7) ، ولكن وقت البسترة للبن المعد للشرب يكون قصيراً للغاية ليسبب المشاكل .

بعد البسـترة المنخفضـة للبن (15 ثانية عند درجة حرارة 72 مئوية) تظل مواد طبيعية كافية لتثبيط النمو البكتيري باقية ، ولكن عند درجة بسـترة عالية يحتاجها اللبن المجنس ، ينخفض تأثيرها بشكل واضح (انظر شكل 2.16) ، وهذا يخص بشكل أساسي الجلوبيلينات المناعية ، يكون تثبيطها موازياً للأجلوتينات التي تحدد خواص التقشيد Creaming Properties. الأجلوتينات ضد البكتيريا (أي مثبطات البكتيريا *B. cereus*) تثبط أيضاً بالتجنيس وبالتالي تكون غير موجودة في اللبن المجنس ، والتي يمكن أن تظل نشـطة بالتجنيس الجزئي . يكون جهاز اللاكتوبيزأوكسيديز- ثيوسيانيت- فوق أكسيد الهيدروجين أقل حساسية للحرارة ، ويصبح تثبيطه ممكناً عند درجات حرارة أعلى من 76 درجة مئوية ، عندما يسـخن لمدة 15 ثانية . يعتمد تأثير وجود أو غياب المثبطات على الفلورا البكتيرية الموجودة . في اللبن عالي البسترة (لمدة 15 ثانية عند درجة حرارة 85 درجة مئوية) مثبطات النمو البكتيري يتم إزالتها ، وبالرغم من العد البكتيري الابتدائي المنخفض ، فإن مدة صـلاحيته تكون قصـيرة عن اللبن منخفض البسـترة . إن هذه التأثيرات تم توضـيحها في شـكل 3.16 . اللبن عالي البسـترة عادة ما يسـخن في زجاجات ، وإن هذا يحسـن نوعية الحفظ لأن إعادة التلوث لا يمكن حدوثها ، إلا أن نكهة مطبوخة يمكن حدوثها أيضاً .

في تصنيع لبن الشرب منخفض البسترة ، عادة ما يطبق الانسياب خلال التسخين ، في المبادل الحراري ذو الصفائح . العلاقة بين درجة الحرارة- الوقت المختارة هو حل وسط بين تثبيط ليبيز اللبن وخفض قدرته على تثبيط النمو البكتيري . عادة ما تضبط درجة الحرارة ، ولكن كما هو

مبين في الشـــكل 2.16 ، يمكن أن يعطي ضــبط فترة من الوقت عند درجة حرارة نتائج أفضـــل (لاحظ أن ميل المنحنيات يختلف) . في اللبن المبســـتر المجنس ، الأجلوتينات يجب أن تثبط لدرجة تمنع تقشيد اللبن . يمكن أن تلاحظ نكهة مطبوخة في بعض الأوقات .

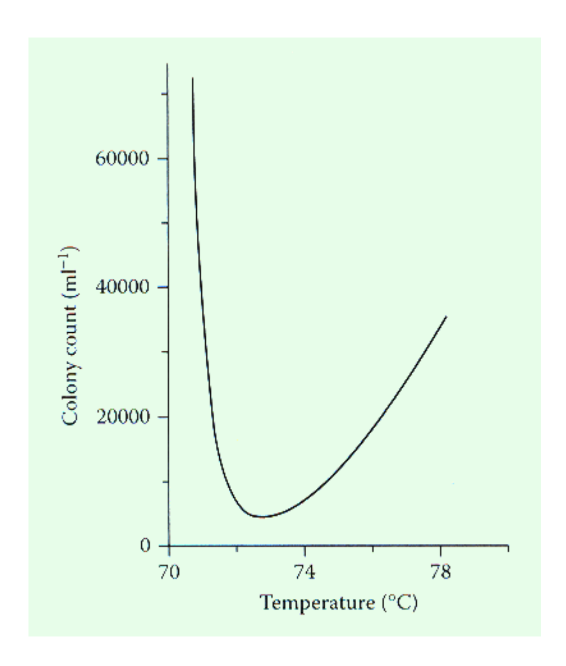
يكون للبن عالي البســـترة لون أبيض (بســـبب التســـخين الفائق UHT لمدة قصـــيرة للبن، انظر فصـــل 2.16) ، نتيجة لتجنيســـه . يســـبب التســـخين الشـــديد اللون البني نتيجة لتفاعلات ميلارد . عادة ، يســـتخدم التســـخين لأعلى من 100 درجة مئوية لقتل جراثيم بكتيريا *B. cereus* ، ونتيجة لذلك تزداد فترة الصلاحية .

إن تعبئة لبن الشرب منخفض البسترة عادة ما تكون في عبوات من الكرتون . كمية معينة من اللبن مازالت تعبأ في عبوات زجاجية أو بلاســتيكية (انظر فصـــل 15) . يجب أن تبذل عناية فائقة للتأكد من الشروط الصحية أثناء التعبئة ولزيادة أمان المنتج ، وخاصة بسبب إعادة التلوث أثناء فترة صـــلاحية المنتج ، والتعبئة غير المعقمة . يمكن أن تزيد درجة حرارة اللبن حوالي درجة واحدة كلفينية K أثناء التعبئة نتيجة للنقل في خطوط أنابيب وعلى أحزمة نقل ، ويسبب استخدام آلات غلقاً للعبوة . ولأن إعادة تبريد منتجات العبوة يكون بطيئاً فإن هذه الزيادة في درجة الحرارة يجب أن تعوض بتبريد أعمق بعد البسترة .

2.1.16 فترة الصلاحية *SHELF LIFE*

هي الوقت الذي يمكن حفظ المنتج المبســـتر تحت ظروف معينة (أي عند درجة حرارة معينة) بدون تغيرات ظاهرية غير مرغوبة . يمكن التعرف على التغيرات في البن الشرب أثناء التخزين في :

- التحلل بواســـطة البكتيريا النامية في اللبن ، مثل إنتاج الحامض ، تكســـير البروتين ، وتحلل الدهن .
- التحلل بواســطة إنزيمات اللبن أو بواســطة الإنزيمات البكترية خارج الخلية ، تكســير البروتين والمواد الشبيهة بالدهن .



شكل 3.16 مثال لتأثير درجة حرارة البسترة (20 ثانية) على العد البكتيري للبن غير مجنس بعد حفظه لمدة 7 أيام عند درجة 7 مئوية

Figure 16.3 Example of the influence of the pasteurization temperature (pasteurization for about 20 s) on the bacterial count of unhomogenized milk after keeping it for 7 d at 7°C. Data courtesy of M.P. Kimenai

- تفاعلات كيميائية مسببة للأكسدة ونكهة ضوء الشمس .
- تغيرات فيزوكيميائية Physiochemical changes مثل التقشيد creaming ، تكون الندف وتكون الهلام ، والذي يمكن أن يسبب بدوره التغيرات المذكورة سابقاً .

التغيرات التي تسببها البكتيريا النامية في اللبن غالباً ما تصبح غير ظاهرة قبل أن يتراوح عددها بين 5×10^6 و 20×10^6 مليلتر$^{-1}$ ، حسب نوع البكتيريا الموجودة إذا كانت البكتيريا *B.cereus* هي الكائن المسبب للفساد ، يكون العد هو 10^6 مليلتر$^{-1}$ ، وهذا العد لا يجب أن يصل إليه عند لحظة البيع للمستهلك . يجب أن يحفظ اللبن المبستر المعد للشرب لمدة أسبوع بعد الشراء ، بشرط

أن يحفظ في مبرد (أقل من 7 درجات مئوية) . في بعض الحالات يوم البيع يكون مســـجلاً على العبوة وكذلك مدة الصلاحية .

قد ذكرت التغيرات الإنزيمية في تحت فصـــل 1.1.16 . التغيرات الكيميائية التي تخص الحساسية العالية للبن منخفض البسترة للضوء المسبب للنكهة غير المرغوبة ، خاصة إذا تم تعبئته في عبوات شفافة . انظر أيضاً فصل 4.4 .

إن تدهور اللبن المبستر يسببه نمو الكائنات الدقيقة خاصة . ويتم تحديده بواسطة :

درجة حرارة التخزين

مدى إعادة التلوث

معدل نمو البكتيريا المسئولة عن التدهور (وقت الجيل ، ...)

عدد جراثيم *B.cereus* في اللبن الأصلي

نشاط المواد المثبطة لنمو البكتيريا

جدول 1.16 وقت الجيل (بالســـاعات) لبعض الســـلالات البكتيرية في لبن منخفض البســـترة عند درجات حرارة مختلفة

Table 16.1 Generation Time (Hours) of Some Bacterial Strains in Low-Pasteurized Milk at Various Temperatures

Temperature (C°) درجة الحرارة	4	7	10	20
Bacillus cereus باسيليس سيريس	00	10	4	1
Bacillus circulans باسيليس سيرليلانس	20	12	10	3
Enterobacter cloacae انتيروباكتر كلواكي	8	5	3	1
Pseudomonas putida بسودوموناس بيتيدا	6	4	3	1
لستيريا مونوسيتوجينيس *Listeria monocytogenes*		20		
لستيريا مونوسيتوجنيس في لبن عالي البسترة *L. monocytogenes*, in high-pasteurized milk	30	11	9	2

إن درجة تخزين اللبن هامة لأن وقت الجيل للكائنات الدقيقة يعتمد بشـــكل كبير على درجة الحرارة كما هو موضـح في جدول 1.16 ليسـت هناك نقطة حقيقية في خفض درجة الحرارة لأقل من 4 إلى 5 درجات مئوية ، لأنه أثناء النقل والتخزين في شـــبكة التوزيع يغلب فيها درجة حرارة مرتفعة ولنقل 7 درجات مئوية . تأثير درجة الحرارة على وقت الجيل والتي يحفظ فيها اللبن المبستر كما هو مبين في جدول 2.16 .

يعتمد معدل نمو البكتيريا على درجة الحرارة ونوع البكتيريا المستخدم . ولنبدأ بعدٍّ بكتيري في اللبن 10 لكل لتر ، وبوقت جيل (9) قدره 4 و7 و10 ساعات ، وفترة صلاحية تقدر بـ 5 و8 و13 يوماً على الترتيب . تكون مثل هذه الأشـــكال طبيعية عادة . يمكن التنبؤ بوقت صـــلاحية اللبن عند درجات حرارة مختلفة إذا عرف نوع البكتيريا الموجودة وعدها الابتدائي ووقت الجيل . ومن الواضـــح أن فترة صـــلاحية اللبن تعتمد على إمكانيات نمو البكتيريا الموجودة . بينما لا يعطي العد الكلي بعد البسترة مباشرة معلومات كافية ، كما هو موضح في شكل 4.16 .

يتراوح العد البكتيري بعد بســـترة اللبن بين 500 و1000 مليلتر$^{-1}$ ، إلا إذا وجد كثير من البكتيريـا المقـاومـة للحرارة في اللبن الأصـــلي . وكقـاعـدة ، يتم فســـاد اللبن بواســـطـة "التخثر الحلو Sweet curdling" الذي تسببه البكتيريا *B.cerus* (وقت الجيل ≤ 9 ساعات عند 7 درجات مئوية) ، إلا إذا حدث إعادة تلوث (فســـاد اللبن المعاد تلوثه ، انظر الفقرات التالية) . ***B.creus*** المكونة لإنزيم الليســـيثينيز Lecithinase ، والتي تكون مســئولة أيضـاً عن "القشـــدة الضـــئيلة bitty cream" وهو عيب في اللبن غير المجنس ، أي الإنزيم الذي يخثر كريات الدهن في طبقة القشـدة التي تكون بالقرب من مستعمرة هذه البكتيريا . عند درجة حرارة التخزين الأقل من 6 درجات مئوية ، باسـيلي سـيريس *B. cereus* لا تسـتطيع النمو ، التدهور يمكن الآن أن يكون سببه البكتيريا باسيلس سيركيلانز *B. circulans* . اللبن عالي البسترة ، المصنوع بالتسخين لحوالي 100 درجة مئوية ، يتم فساده بواسطة البكتيريا B. licheniformis أو بواسطة *B. subtilis* إذا كانـت درجة حرارة الحفظ عـالية نوعاً . اللبن المحتوي على 10 جراثيم من البكتيريا B. cereus

لكل 100 مليلتر ، وقت صـــلاحيته لظروف التخزين العادية يتراوح بين 12 إلى 14 يوماً إذا لم يوصى بغير ذلك .

إذا تمت إعادة تلوث اللبن المبســتر ، فإن التدهور عادة يكون ســريعاً وذا طبيعة مختلفة . وهذا تم توضـيحه في جدول 2.16 ، وفيه يكون اللبن الخارج من عملية البسـترة لم تحدث له إعادة تلوث بعد ، ولكن تحدث له عملية إعادة التلوث أثناء التعبئة . وجود البكتيريا المعوية ، والتي يتم التعرف عليها بعد حفظ اللبن عند درجة 20 مئوية ، هي دلالة على أن إعادة التلوث قد تم حدوثه . اللبن (المعاد تلوثه) ، حفظ غير مبرد ، يصـير حامضـاً وذلك نتيجة لنمو بكتيريا حامض اللاكتيك المحبة للحرارة ، يتدهور اللبن عالي البســترة أســرع . تحت درجة 10 مئوية يتدهور اللبن بواسطة البكتيريا المحبة لدرجة الحرارة المنخفضة (وقت الجيل 9 = 4 إلى 5 ساعات عند 7 درجات مئوية) .

الجدول 2.16 أمثلة لمتوسط عدد الأيام التي يمكن أن يحفظ عندها اللبن منخفض البسترة عند درجات حرارة مختلفة قبل أن يتجاوز معيار يوم الصلاحية الأخير للبيع (A) ووقت الصلاحية B

Table 16.2 Examples of the Average Numbers of Days That Low-Pasteurized Milk Can Be Stored at Various Temperatures before it Surpasses the Criteria for Guaranteed Day of Ultimate Sale (A) and Guaranteed Shelf Life (B)

متوسط عدد الأيام للحصول على عد بكتيري من Averge Number of Days to Obtain a Count of $5.10^6 ml^{-1}$(B)			$5.10^4 ml^{-1}$(A)			Milk Samples Taken عينات اللبن المأخوذة
10°*C*	7 °C	4 °C	10 °C	7 °C	4 °C	
9.8	13.6	> 14	5.8	9.6	> 14	مباشرة بعد البسترة Just after the pasteurizer
7.3	8.7	13.5	4.7	6.0	12.8	من عبوات زجاجية From glass bottles
7.0	10.9	> 14	5.2	7.8	> 14	من عبوات الكرتون From cartons

ملاحظة هذه البيانات زودنا بها Kimenai P.M .

Note: Data kindly provided by M.P. Kimenai.

تصبح النكهة متعفنة Putrid ومزنخة rancid نتيجة لتحلل البروتين والتحلل المائي للدهن ، على الترتيب وحيث أن هذه البكتيريا المحبة للبرد تكون صعبة التأثر بالمواد المثبطة للنمو البكتيري . يكون معدل التدهور تحت 7 درجات مئوية مشابهاً لكل من اللبن المنخفض وعالي البسترة .

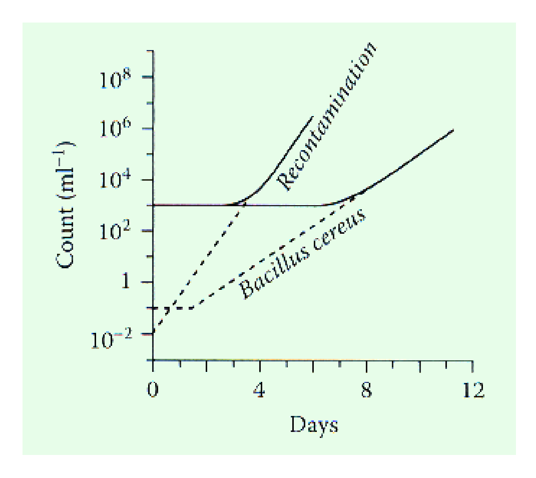
والقاعدة هي أن كلما زادت جراثيم *B.* cereus في اللبن غير المعاد تلوثه ، أو كلما كان معاد تلوثه بكثافة ، كلما كان التدهور أسـرع أثناء تنظيف وتطهير آلات التعبئة والقفل لكي نتجنب التلوث (كلما أمكن ذلك) بعد الانسـياب خلال عملية بسـترة . وبتحديد يوم البيع النهائي ، عادة ما ندعي وجود إعادة تلوث للبن . يجب القيام بالفحص الدائم والمسـتمر أثناء العملية لكي نحد من إعادة التلوث ولكي نوفي بمتطلبات يوم البيع النهائي . إلى هذه النهاية ، يجب حفظ العينات عند درجات حرارة مختلفة ونقيس الفترات الزمنية . والعيب هو أن المسـتهلك عادة ما يستقبل اللبن قبل أن تعرف نتائج فترة الصلاحية وعلى ذلك فإن التجارب يجب أن تطور بحيث تسمح بتعرف سريع عن إعادة التلوث بواسطة البكتيريا سالبة الجرام ، والمكونة للجراثيم .

3.1.16 اللبن ذو الصلاحية الممتدة Extended- Shelf- Life Milk

بعض المستهلكين يفضل شرب لبن يشبه في طعمه اللبن منخفض البسترة ، ولكن يمكن الاحتفاظ به فترة أطول بدون فقد في نوعيته . وهناك قاعدتان أساسيتان عن طريقهما يمكن إنتاج اللبن ذو الصلاحية الممتدة (ESL) .

تشمل الأولى المعاملة الحرارية الفائقة (UHT) ، متبوعة بتعبئة معقمة . وهذا يحدث عادة في اللبن المعقم . إلا أن معاملة حرارية لمدة 2 ثانية عند 140 درجة أو 3 ثواني عند 135 درجة مئوية سوف يكون كافياً لقتل جميع البكتيريا (انظر شكل 8.16) ، بينما يمكن الحفاظ على النكهة دون تغير ، بشرط استخدام التسخين المباشر . انظر تحت فصل 1.3.7 و2.3.7 . اللبن يجب أن يكون خالياً من الإنزيمات التي تنتجها البكتيريا المحبة للبرد ، التي لم يتم تثبيطها . يبقى البلازمين

أيضـاً نشـطاً ، مسـبباً نكهة لاذعة مرة . إلا أنه عند حفظ اللبن مبرداً ، يمكن ملاحظة ذلك بعد حوالي شهر واحد .



شكل 4.16 العد البكتيري في اللبن منخفض البسترة أثناء الحفظ عند درجة 7 درجة مئوية وتأثير إعادة التلوث . أمثلة تقريبية . الخط غير المتقطع ، العد الكلي ، الخطوط المتقطعة ، فلورا معينة

Figure 16.4 The bacterial count in low-pasteurized milk during storage at 7°C and the effect of recontamination. Approximate example. Solid line: total count; broken lines: specific flora

القـاعـدة الثـانيـة هي الإزالـة الفيزيـائيـة للبكتيريـا والجراثيم . وهـذا يتم بواســطـة Bactofugation كما ذكر في فصــل 2.8 . إلا أن تلك طريقة مكلفة خاصــة إذا كانت الإزالة الكاملة للكائنات مطلوبة .

طريقة أخرى لإزالة الميكروبات بواسـطة الترشيح الدقيق Micro filtration (انظر فصـل 12 لعمليات الترشـيح الغشـائي) ، والتي حققت بعض النجاح . تكون الضـغوط المسـتخدمة عبر الغشـاء أقل من 1 بار . يمكن أن ينتج تدفق عالٍ وفترات تشـغيل طويلة . يمكن أن تحتجز كريات

الدهن أيضـــاً ، على اعتبار أن الغشــاء له ثقوب حجمها حوالي ميكرومتر واحد ، وعلى ذلك ، يجب فصل اللبن أولاً . شكل 5.161 يمثل مخططاً لعملية التصنيع .

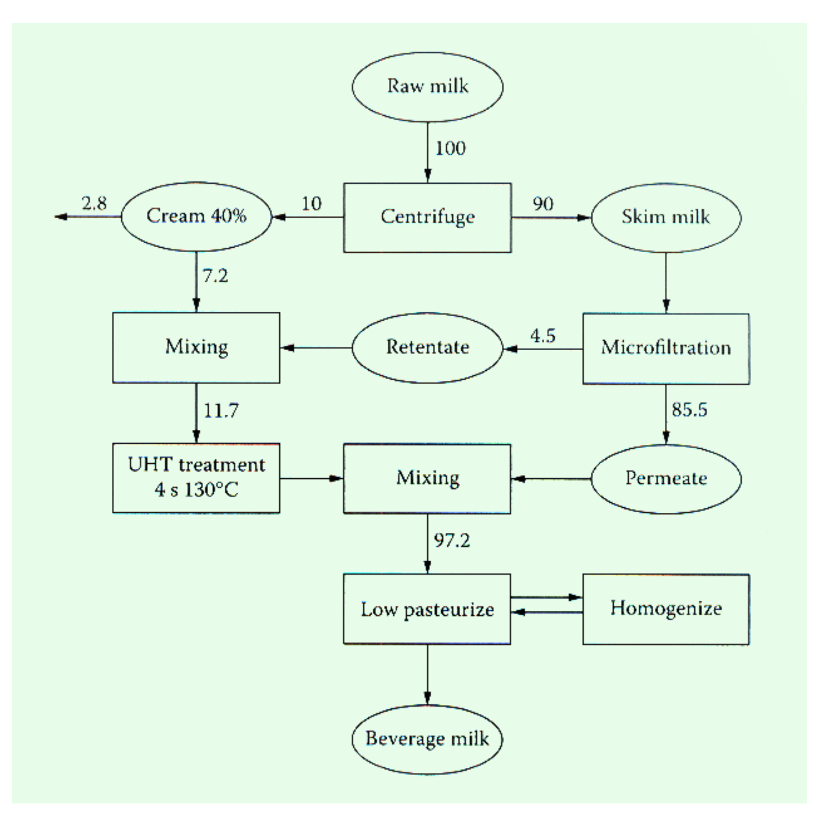
يمر بعض من العدد الكلي للخلايا البكتيرية (0.1% إلى 1%) مع الراشـــح ، <0.05% من باسـيلس سـيريس *B. cereus* . يمكن الحصـول على انخفاضـات قوية حتى لدرجة التعقيم ، باستخدام أغشية ذات ثقوب أحجامها أصغر ، ولكن ذلك يكون على حساب السريان ووقت التشـغيل الأقصـى . تكون كمية المحتجز فقط نسـبة صـغيرة من الحجم في البداية ، يزداد المحتوى البروتيني قليلاً بحوالي 0.5% وحدة . يكون المحتجز معقماً بالمعاملة الحرارية الفائقة UHT مع القشدة . يجب أن يعبأ المنتج بطريقة معقمة .

تمتد مدة صـلاحية المنتج كثيراً . ومن جانب آخر ، جزء من المنتج (حوالي 12%) تكون معقمة ، النكهة المطبوخة حصرها باستخدام معاملة حرارية فائقة لفترة قصيرة بتسخين مباشر . يجب أن نلاحظ ، أن كريات الدهن (التي تولد الجزء الأكبر من المركبات الكبريتية المهدرجة بالمعاملة الحرارية الشديدة) تكون في الجزء المسخن بشدة .

2.16 اللبن المعقم *Sterilized Milk*

1.2.16 الوصف *Description*

يقصـد بتعقيم اللبن قتل كل الكائنات الدقيقة الموجودة شـاملة جراثيم البكتيريا ، ولذلك يخزن المنتج المعبأ لفترة طويلة في درجة حرارة المحيط ، بدون فســاد بواســطة الكائنات الدقيقة . وحيث أن الأعفان والخمائر قد تم قتلها ، فإن الاهتمام ينصـــب على البكتريا . يمكن أن تقل التأثيرات الثانوية غير المرغوبة للتعقيم في زجاجة مثل الدكانة ، نكهة التعقيم ، فقد الفيتامينات بواســطة التعقيم بالحرارة الفائقة (UHT) . أثناء تعبئة اللبن المعقم المعامل بالحرارة الفائقة ، يجب منع التلوث بواســطة البكتيريا . بعد التعقيم بالمعاملة الحرارية الفائقة ، يمكن أن تحدث تفاعلات إنزيمية معينة وتغيرات كيموفيزيائية .



شكل 5.16 عملية تصنيع لبن الشرب المبستر باستخدام الترشيح الدقيق

Figure 16.5 A manufacturing process for pasteurized beverage milk by using microfiltration (Adapted from P.J. Pedersen, IDF Special Issue 9201, 1992)

لكي نحقق الأهداف المرجوة يكون من الضروري أن :

- عد الكائنات الدقيقة ، شاملة الجراثيم ، يكون أقل من 10^{-5} لكل لتر .
- اللبن الأصلي لا يحتوي على إنزيمات بكتيرية الأصل والتي لم يتم تثبيطها بالكامل بواسطة المعاملة الحرارية .
- تكون الإنزيمات الموجودة طبيعياً في اللبن مثبطة بطريقة كافية .
- التفاعلات الكيميائية أثناء التخزين تكون في حدها الأدنى .

- الخواص الفيزيائية للبن يكون تغيرها أقل ما يمكن أثناء المعاملة والتخزين .
- نكهة اللبن تظل مقبولة .
- القيمة الغذائية للبن تنخفض قليلاً فقط .

هذه الأهداف والاحتياطات يكون من الصعب التوفيق بينها . وأهمها تحدد أي العمليات الحرارية سوف يتم اختيارها . بالإضافة إلى ذلك ، عوامل مثل تكاليف العمليات ، تعقد العمليات والآلات ، وفوق ذلك ، يجب أن تؤخذ رغبات المستهلكين في الاعتبار .

تثبيط الإنزيمات وقتل الكائنات الدقيقة تم مناقشتها في تحت فصول 3.3.7 و4.3.7 .

تسبب الأكسدة نكهة غير مرغوبة وتكسير الفيتامينات . يكون وجود هذه التفاعلات أثناء التخزين محدداً بواسطة التسخين الشديد ، مسببة تكون مضادات الأكسدة ، عدم تهوية اللبن وطرد الهواء من العبوة ، واستخدام عبوة تكون غير منفذة للضوء والأكسجين . بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أن تحدث تفاعلات ميللارد إما أثناء المعاملة الحرارية (في الزجاجات المعقمة أو أثناء التخزين) (اللبن المعامل بالحرارة الفائقة UHT) (انظر تحت فصل 3.2.7) . تكون التفاعلات الأخيرة مسئولة عن الدكانة ، النكهة غير المرغوبة ، ونقص القيمة الغذائية .

يحفظ البن المعقم لمدة طويلة لدرجة أنه سوف يرسب القشدة نتيجة للجاذبية إذا لم يكن مجنساً . يكون التقشيد غير مرغوب فيه . بجانب أن التجمع الجزئي لكريات الدهن المتقاربة سوف يؤدي إلى تكون سدادة القشدة Cream Plug ، التي يكون من الصعب خلطها مع اللبن المتبقي ، يمكن أن يحدث ظهور الزيت عند درجات حرارة مرتفعة وعلى ذلك ، يكون اللبن السائل المعقم دائماً مجنساً .

إذا كان اللبن في زجاجات معقمة فقط ، تكون تغيرات قليلة في ظروف العملية ممكنة ، يمكن أن يتعرف عليه المنتج المتحصل عليه المستهلك بسهولة بسبب نكهة التعقيم التي لا يمكن تجنبها . إذا عومل اللبن بالحرارة الفائقة ، تأثير معقم كافٍ يمكن أن نصل إليه في الحال ، والذي يقتضي أن ظروف العملية الصحيحة يمكن اختيارها على أساس اعتبارات

إضافية . يمكن أن تتراوح النكهة من خفيفة (عند ثانية واحدة في درجة حرارة 145 مئوية ، تسخين مباشـــر) إلى نكهة مطبوخة مميزة (التســـخين لمدة 16 ثانية عند درجة حرارة 142 مئوية في مبادل حراري مزود بجانب للتسخين والتبريد كما هو مبين في الشـكل 20.7 ، المنحنى الموجود في الجانب الأيمن) ، والتي يمكن تميزها نادراً من نكهة اللبن المعقم في زجاجات . وهذا يجعل من الصـــعب التمييز بدقة لبن الشـرب المعقم بالحرارة الفائقة (UHT) وتوصـيل المعلومة بوضـوح للمسـتهلك . يكون التقسيم على أساس المعدات المستخدمة في العملية غير كافٍ وعلى ذلك ، يجب محاولة تمييز اللبن المعامل بالحرارة الفائقة بواســـطة التغير الكيميائي ، والتي منها تكون اللاكتيلوز Lactulose عادة ما يكون مفيداً . اللبن المعامل بالحرارة الفائقة القياســـي هو الذي يحتوي على أقل من 600 مليجرام لاكتيلوز لكل لتر (انظر شكل 9.16) .

2.2.16 طرق التصنيع *Methods of Manufacture*

شكل 6.16 وشكل 7.16 يعطيان أمثلة لتصنيع لبن معقم . المعاملة الحرارية ، الفصـل ، المعايرة أو التقييس تمت مناقشـــتها في فصـــل 1.16 . يمكن أن تكون البروتينيز والليبيز التي أفرزتها البكتيريا المحبة للبرد وخاصــة الجنس بســـيدوموناس Pseudomonas مقاومة جداً للحرارة ، وحتى التعقيم في زجاجات يكون غير كافٍ للتثبيط الكامل لهذه الإنزيمات . وعلى ذلك ، يجب أن تغيب هذه الإنزيمات في اللبن الخام . وعلى الخصــوص ، إضــافة بعض اللبن المتبقي منذ فترة يجب تجنبها بالكامل ، لأن البكتيريا المحبة للبرد يمكن أن تنمو بصورة عالية في هذا اللبن .

تنتج هـذه البكتيريـا خـاصـــة إنزيمـات مقـاومـة للحرارة في طور الثبـات البكتيري Stationary Phase . الأنواع المختلفة للعمليات الحرارية هي :

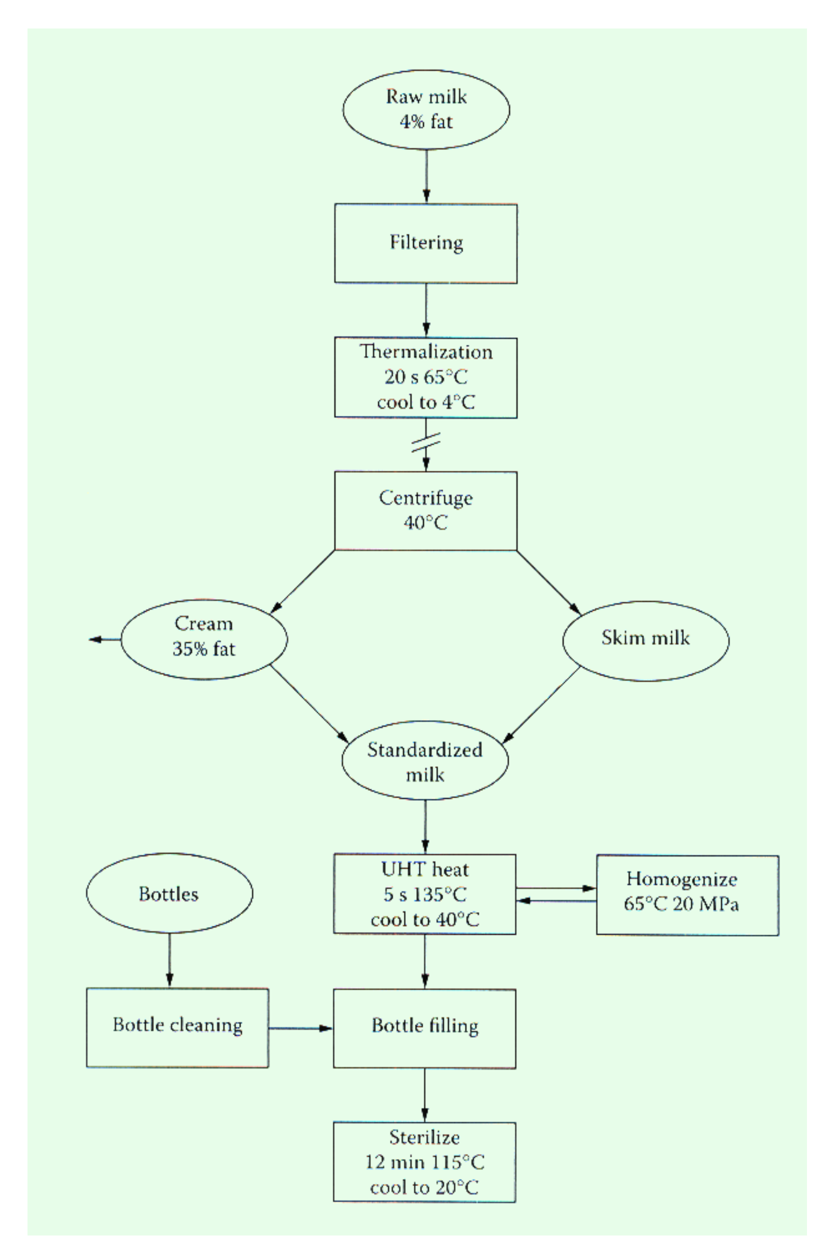
- التعقيم في زجاجات .
- التدفق- خلال تعقيم لبن سبق تسخينه أو تعقيم متوسط في زجاجات .
- التدفق خلال التعقيم وتعبئة معقمة .

مزايا ومساوئ هذه الأنواع من العمليات الحرارية ، والآلات المستخدمة تمت مناقشتها في فصل 4.7 . يحتاج التأثير المعقم تحديد الحد الأدنى للعلاقة بين درجة الحرارة- الوقت التي يتم اختيارها. شدة التعقيم أيضاً لها حد أعلى ، والتي يمكن أن نصل إليها عندما يبدأ بروتين اللبن في التجبن . يكون كل اللبن الخام جيد النوعية ثابتاً ويحتمل التعقيم (انظر أيضاً تحت فصل 4.2.7) . خطوة التسخين في عملية التعقيم بالحرارة الفائقة بالتسخين المباشر يسبب تكون تجمعات جسيمات الكازين ، والذي يمكن أن يؤدي إلى شعور قابض بالفم وإلى بعض الترسيب عند تخزين اللبن . يكون التجبن الحراري مسئولاً عن التجمعات .

التجنيس بالضغط العالي (عادة 40 MP هو المستخدم) يسبب خللاً بها . لأن التجنيس يجب أن يحدث في وسط معقم ، وهذا يحتاج مجنسات مصممة خصيصاً .

نظام درجات الحرارة- الوقت المناسب للتعقيم تم توضيحه في شكل 8.16 . عادة ، المعاملة الحرارية فوق الخط المقدم للبكتيريا باسيلس ستيروثيرموفيليس *Bacillus stearothermophilus* يجب أن يتم اختيارها . الدكانة في زجاجات اللبن المعقم لا يمكن تجنبها لأنه عند درجة الحرارة المعتادة من 115 إلى 118 درجة مئوية ، تتقاطع المنحنيات الخاصة بالتأثير المعقم الكافي والدكانة المعنوية .

المعاملة الحرارية الفائقة عادة ما تتم عند درجات حرارة فوق 140 درجة مئوية ، وطبقاً لذلك فإن التأثير المعقم المطلوب يتم الوصول إليه حالاً . ولكن مدة الصلاحية الطويلة الكافية عند درجة الحرارة السائدة يمكن الحصول عليها فقط إذا كان نشاط البلازمين المتبقي عند المستوى 1% . عادة المنحنى لـ 600 مليجرام لاكتيلوز يمثل الحد الأعلى للمعاملة الحرارية الفائقة المعقمة ، ولكن عند هذا الحد تنتج نكهة مطبوخة مميزة . ومن الواضح ، أن النظام الحراري المناسب يكون محدوداً . لمدد تعقيم قصيرة ، يكون كل من العلاقة بين درجة الحرارة- الوقت والحمل الحراري الكامل للمنتج ، شاملاً التسخين وإعادة التبريد ، يكونان في غاية الأهمية (انظر تحت فصل 2.3.7) .



شكل 6.16 مثال لتصنيع لبن شرب معقم في زجاجات

Figure 16.6 Example of the manufacture of in-bottle sterilized milk for consumption

عندما تطبق المعاملة الحرارية الفائقة ، يجب إزالة الأكسجين أولاً من المنتج بواسطة deaeration ، إلى أقل من مليجرام واحد لكل كيلوجرام لبن . في التسخين المباشر ، هذا يحدث أثناء التبخير على البارد للمنتج ، إذا وجد قليل من الأكسجين ، فإن ذلك يؤدي إلى إزالة النكهة المطبوخة في خلال أيام قليلة ، ولكن محتوى الأكسجين العالي يسبب تكون نكهة مؤكسدة وفقد جزئي لبعض الفيتامينات أثناء التخزين . لأن المعاملة الحرارية الشديدة أثناء التعقيم في زجاجات يكون مضادات أكسدة كافية ، إزالة الهواء يكون غير ضروري في هذه الحالة .

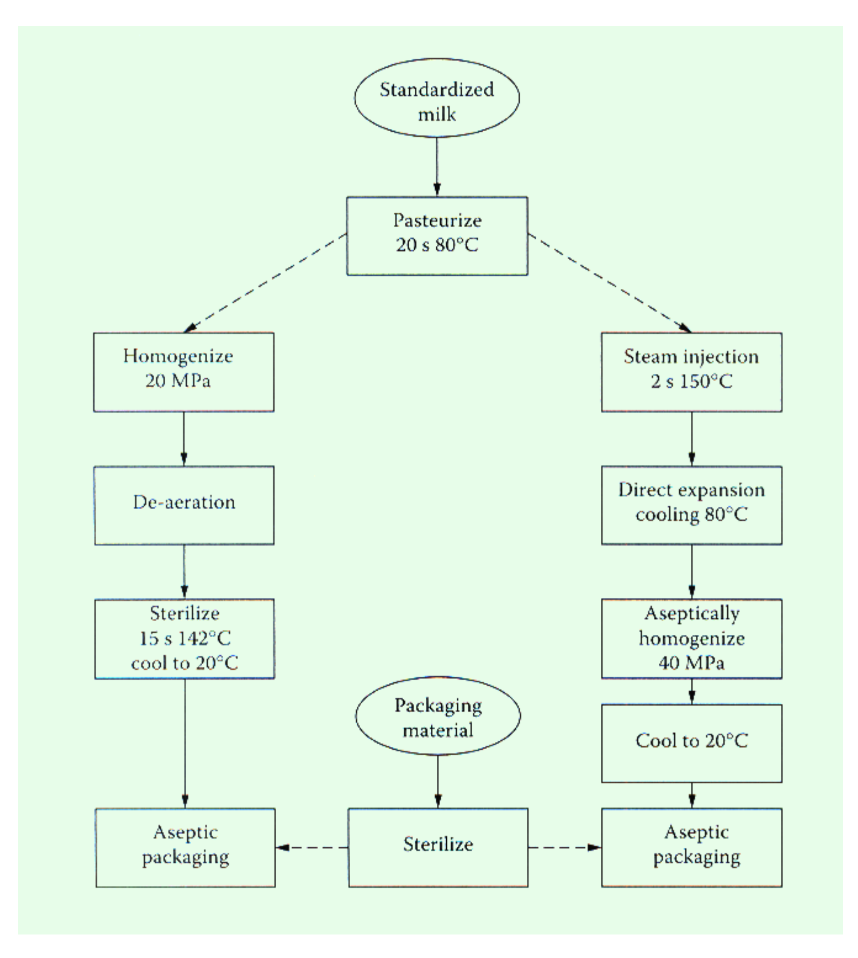
عبوة اللبن المعقم يجب أن تكون غير منفذة للأكسجين ، في عبوات معقمة كاملة التعبئة يجب أن يحدث (دون ترك فراغ في منطقة الرأس) . اللبن المعامل بالحرارة الفائقة يكون عالي الحساسية لتكون نكهة غير مرغوبة يسببها الضوء ، لذلك يوصى بأن العبوة تكون غير منفذة للضوء (انظر فصل 15) .

3.2.16 مدة الصلاحية ***SHELF LIFE***

الفساد في عبوات اللبن المعقم سببه معاملة حرارية غير كافية . ونتيجة لذلك فإن جراثيم بكتيريا *Bacillus subtilis* و *B. Circulans* و *B. coagulans* أو *B. stearothermophilus* تتواجد حية في اللبن المعقم . *B. subtilis* لها جراثيم مقاومة للمعاملة الحرارية ، وهذه البكتيريا يمكن أن تسبب تدهور وفساد اللبن المعقم في زجاجات .

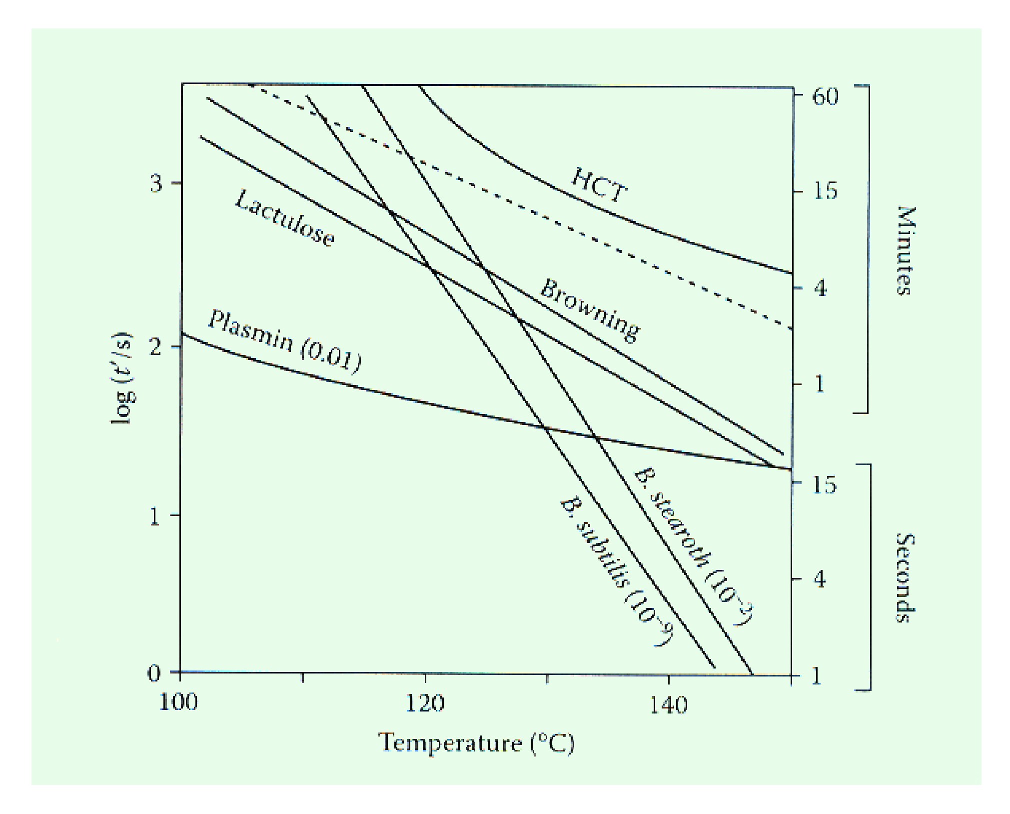
إذا خُزن اللبن تحت ظروف استوائية ، فإنه يمكن أن يفسد نتيجة وجود بكتيريا باسيلس ستيروثيرموفيليس *B. stearothermophilus* ، التي لها جراثيم مقاومة جداً للحرارة . كل من العد المنخفض لهذه الجراثيم في اللبن الأصلي وخطوة التسخين المسبق للمعاملة الحرارية الفائقة UHT يمكن أن تساعد *B. stearothermophilus* في عدم النمو تحت 35 درجة مئوية . يكون التعقيم الخفيف في زجاجات بعد معاملة حرارية فائقة UHT كتعقيم مسبق ، ممكناً فقط إذا لم يوجد تلوث بالجراثيم البكتيرية أثناء عملية التعبئة . إذا لم تكن العبوة محكمة القفل (نتيجة لعيوب في

السدادة) فإن اللبن يمكن أن يعاد تلوثه ويصبح فاسداً . يمكن أن يحدث التدهور الإنزيمي أو نتيجة الأكسدة للبن نتيجة للمعاملة الحرارية الشديدة .



شكل 7.16 أمثلة لتصنيع لبن معقم بمعاملة حرارية فائقة UHT (تسخين مباشر أو غير مباشر) مع تعبئة معقمة

Figure 16.8 Changes in milk during sterilization: killing of bacterial spores, inactivation of enzymes, and some undesirable changes such as a significant browning; HCT = approximate heat coagulation time. The broken line very roughly indicates a reduction of the activity of bacterial lipases and proteinases to 0.1. Lactulose corresponds to 600 mg/l



شكل 8.16 تغيرات في اللبن أثناء التعقيم : قتل الجراثيم البكتيرية ، تثبيط الإنزيمات ، وبعض التغيرات غير المرغوبة مثل دكانة معنوية ، HCT = زمن التجبن الحراري التقريبي . الخط المتقطع يعني انخفاض نشاط الليبيز البكتيري والبروتينيز البكتيري إلى 0.1 اللاكتيلوز يعادل 600 مليجرام لكل لتر

Figure 16.8 changes in milk during sterilization: killing of bacterial spores, inactivation of enzymes, and some undesirable changes such as a significant browning; HCT = approximate heat coagulation time. The broken line very roughly indicates a reduction of the activity of bacterial lipases and proteinases to 0.1. Lactulose corresponds to 600 mg/l

إن تدهور اللبن المعامل بالحرارة الفائقة بواسطة النمو البكتيري عادة ما يكون سببه إعادة التلوث . ومن الواضـــح ، أن نوع التدهور يحدد بواســطة نوع البكتيريا المعاد التلوث بها . يمكن أن يحدث إعادة التلوث بالكائنات الممرضــة بدون تدهور واضـــح ، مثل تكون الهلام وتكون نكهات

مرة ، مزنخة ، وفاســـدة ، والتي يمكن فقط منعها بواســـطة نوعية جيدة للمادة الخام . إلى الآن ، حالات نادرة للتســـمم الغذائي نتيجة لتناول اللبن المعامل بالحرارة الفائقة الملوث بواســطة البكتيريا ستافيلوكوكس *Staphylococci* تم تسجيلها .

ســـوف يحدث التدهور الإنزيمي للبن المعامل بالحرارة الفائقة UHT milk نتيجة لوجود إنزيمات بكتيرية مقاومة للحرارة ، مثل التدهور بواســـطة البلازمين ، مســـبباً طعماً مراً ، في هذه الحالات عندما نرغب في تخزين اللبن المعامل بالحرارة الفائقة لمدة طويلة (إلى أكثر من ستة شـهور) وعند درجة حرارة أعلى ، كما في البلاد الاســـتوائية المعاملة الحرارية الشـــديدة يمكن أن تمنع ذلك جزئياً . يمكن أن يشـمل التدهور غير الإنزيمي للبن المعامل بالحرارة الفائقة أثناء التخزين الأكسـدة ، تأثير الضوء ، وتفاعلات ميللارد .

يتم التأكد من نوعية الحفظ للبن المعقم في الزجاجات بتحضـــين العينات عند درجات حرارة مختلفة عادة 30 و55 درجة مئوية . وبعد أيام قليلة يمكن أن نحدد الرائحة ، الطعم ، المظهر ، الحموضة ، العدد البكتيري للمستعمرة ، وضغط الأكسجين . تعقيم اللبن المعامل بالحرارة الفائقة يمكن أن يتم التأكد منه بنفس الطريقة . من الناحية الإحصـائية ، يكون الكشـف عن تعقيم عدد كبير من العينات لأي إنتاج مطلوباً . يمكن أن تتم قياسـات ضـغط الأكسـجين بسـرعة ، ولكنها تكون صـالحة فقط إذا احتوى المنتج ، بعد التعبئة مباشـرة ، على بعض الأكســجين ، يدل نقص ضـغط الأكسـجين على نمو ميكروبي . يكون قياس الزيادة في الأدوتيزين ثلاثي الفوسـفات ATP البكتيري عن طريق .... البيولوجية ممكناً . يجب أن يباع اللبن المعقم فقط بعد معرفة نتائج اختيارات وقت الصلاحية . وتكون مرضية .

3.16 الألبان المعاد تكوينها *Reconstituted Milk*

في بعض المناطق ، حيث يكون هناك نقص في اللبن (البقري) الطازج . وكبديل ، يمكن أن يستخدم اللبن البودرة لعمل منتجات لبنية سائلة مختلفة . بعض الأنواع الشائعة هي كالتالي :

اللبن المعاد تكوينه : ويصـنع بإذابة بودرة اللبن الكامل في الماء للحصـول على سـائل مشـابه في التكوين للبن الكامل . اللبن منزوع الدسم (الفرز) المعاد تكوينه يمكن عمله .

اللبن المعاد جمعه Recombined Milk : يصـنع بإذابة بودرة اللبن الفرز في الماء ، عادة عند درجة 40 إلى 50 درجة مئوية ، وإضـافة دهن اللبن السـائل (ويفضـل دهن اللبن اللامائي من نوعية جيدة : تحت فصل 1.5.18) ، مكوناً مستحلباً خشناً coarse emulsion بواسطة تقليب شديد أو بواسـطة خلاط ، ثم نجنس السـائل . يكون هذا المنتج مشـابهاً للبن الكامل المجنس ، فيما عدا غياب أغلب مادة غشاء كريات الدهن الطبيعية ، مثل الليبيدات الفسفورية ، انظر أيضاً فصل 9 ، جزء 9.9 .

منتجات ألبان معاد جمعها أخرى تم تصـنيعها . شـكل 2.19 يوضـح خطوات تصـنيع اللبن المبخر المعاد جمعه .

اللبن المزود Filled Milk : يشـبه اللبن المعاد جمعه ، ماعدا أن دهن اللبن يسـتبدل بزيت نباتي يستخدم في إمداد المحتوى الدهني المرغوب . انظر تحت فصل 1.15.16 .

اللبن الملطف Toned Milk : هو خليط من لبن الجاموس واللبن الفرز المعاد تكوينه ، محتوى الدهن العالي للبن الجاموس (أي 7.5%) يلطف .

4.16 النكهة *Flavor*

النكهة الجيدة ، هي بالطبع ، نوعية علامة ضـرورية للبن السـائل . اللبن الطازج له نكهة لطيفة ، حيث أن للبن كامل القشـدة طعم أغنى من اللبن الفرز . الجانب الأسـاسـي هو غياب النكهة غير المرغوبة . يمكن أن يكون للبن الطازج رائحة غير مرغوبة (انظر تحت فصـل 4.4) . وهذه لا يمكن إزالتها ، بالرغم من أن مركبات مسببة للنكهة تتكون بالتسخين يمكن إلى حد ما أن تحجب النكهة غير المرغوبة ، التأثير الأول للمعاملة الحرارية هو أن النكهة البقري Cowy flavor

للبن الطازج تقل (أو تحجب) ، لدرجة أن النكهة تصبح أقل وضوحاً . ومضات غليان للبن ، كما يحدث في قسم تبريد مسخن المعاملة الحرارية الفائقة المباشر يمكن أن يخفض من بعض النكهات غير المرغوبة .

يمكن أن يسبب النمو البكتيري سواء قبل أو بعد العملية نكهات غير مرغوبة مختلفة . عدم النظافة أو حتى روائح متعفنة تسببها بعض البكتيريا المحبة للبرد ، بعض البكتيريا مثل بسودوموناس فراجي *Pseudomonas fragii* تسبب رائحة الفاكهة . بكتيريا حامض اللاكتيك تسبب تحول اللبن إلى طعم لاذع ولكن العيوب الأخرى مثل نكهة مشروب الشعير malty flavor (تسببها بكتيريا لاكتوكوكس لاكتيس *Lactococcus lactis* ssp. malti genes) يمكن أن يحدث أيضاً أن تسبب باسيلس سيركيلانز *Bacillus circulans* نكهة فينولية في اللبن المعقم في زجاجات . يؤدي نمو بكتيريا باسيلس سيريس *B. cereus* في اللبن المبستر إلى نكهة غير واضحة ، والتي تمنع المستهلك من شرب هذا اللبن ، الذي يمكن أن يحتوي على سموم كافية قد تكون ضارة بالصحة . لا تستطيع بكتيريا حامض اللاكتيك النمو عند درجة حرارة المبرد ، ولكن بعض سلالات باسيلس سيريس *B. cereus* تستطيع النمو عند درجة حرارة 7 مئوية .

يمكن أن تسبب إنزيمات اللبن نكهة مرة نتيجة لتحلل البلازمين Plasmin كما يمكن أن يحدث في اللبن المعامل بالحرارة الفائقة ، ونكهة مزنخة صابونية نتيجة للتحلل الدهني بواسطة الليبيز الليبوبروتيني في اللبن منخفض البسترة ، إلا أن نكهة زنخة صابونية تكون غالباً نتيجة التحلل الدهني التي يحدث قبل البسترة أو نتيجة عمل الليبيز الميكروبي المقاوم للحرارة التي تفرزه البكتيري المحبة للبرد . التحلل الدهني تم مناقشته في تحت فصل 5.2.3 .

يمكن أن يحدث أكسدة الدهون (انظر تحت فصل 4.3.2) نتيجة لتلوث اللبن بالنحاس أو نتيجة للتعرض للضوء . النتيجة نكهة غير مرغوبة تسمى نكهة التشحم "tallowy" أو النكهة المؤكسدة ، ولكن في بعض الحالات تتكون نكهة تشبه ورق الكرتون . الأخيرة ربما يسببها أكسدة الليبيدات الفوسفورية ويمكن حدوثها أيضاً في اللبن الفرز . تختلف حساسية اللبن في الحصول على

نكهة مؤكسدة كثيراً ، ولكن يظهر أن استبعاد النحاس بشدة (والذي يعني تلوثاً لأقل من 3 ميكروجرام نحاس لكل كيلوجرام) والضوء يكونان مؤثرين في منع العطب من الحدوث .

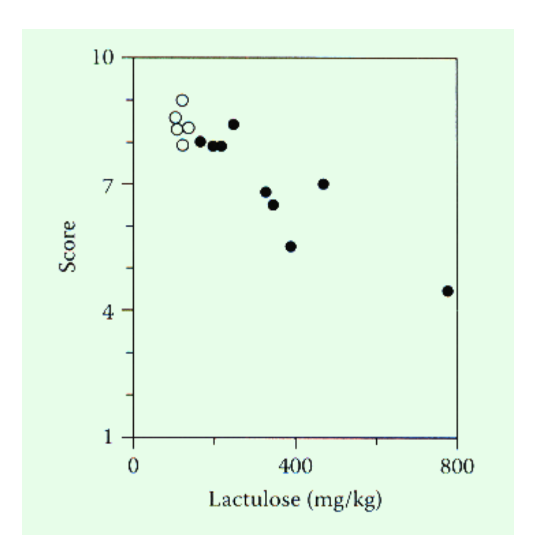
يمكن أن يكون التعرض للضوء عاملاً محدداً لنكهة اللبن ، و10 دقائق من ضوء فلوريسيني على لبن في عبوة من الكرتون (غير مزودة بطبقة من ورق الألمونيوم) يمكن أن يكون كافياً لإنتاج الأعطاب . النكهة غير المرغوبة لا تتكون في الحال ولكن خلال عدة ساعات بعد التعرض للإضاءة . ويمكن أن يخص النكهات المؤكسدة ، ولكن أيضاً نكهات "ضوء شمس" مختلفة . تكون الأخيرة نتيجة لأكسدة المثيونين الحر إلى ميثيونال methional $CH_3-S-CH_2-CH_2-CHO$ والثيولات الحرة thiols المتكونة من بقايا الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت ، ويكون جود الريبوفلافين ضرورياً لإنتاج نكهة أشعة الشمس .

تؤدي المعاملة الحرارية إلى تغيرات في النكهة ، يختلف التفضيل أو عدم التفضيل كثيراً بين المستهلكين . يسبب كل نوع من المعاملات الحرارية نكهة خاصة به اعتماداً على الحمل الحراري الكلي للعملية . عناصر النكهة الأساسية هي نكهة مطبوخة ، نكهة كيتونية أنتجتها المعاملة الحرارية الفائقة UHT Ketone ، نكهة كارملة سببها التعقيم . النكهة المطبوخة سببها وجود غاز كبيريتيد الهيدروجين H_2S المتصاعد بعد دنترة البروتين (غالباً من غشاء كريات الدهن) أثناء البسترة العالية والغليان . اللبن المعامل بالحرارة الفائقة له أيضاً نكهة مطبوخة ، لكن بالإضافة إلى ذلك ، فإن نكهة كيتونية والتي تنتج في الجزء الدهني فنتيجة لوجود ميثيل كيتون وبدرجة قليلة لوجود اللاكتونات lactones ومركبات الكبريت . النكهة المطبوخة بالإضافة إلى النكهة الكيتونية والتي تعتمد كلياً على نوع عملية UHT المستخدمة . عادة ، تختص النكهة المطبوخة الخفيفة للبن المعامل بالحرارة الفائقة جزئياً أثناء الأسبوع الأول بعد التصنيع نتيجة لأكسدة مركبات الكبريت المختزلة . تعطي شكل 9.16 مثالاً لتسجيل نكهات اللبن المعامل بالحرارة الفائقة ، ثم تسخينها عند شدات مختلفة .

عندما نستخدم معاملة حرارية شديدة ، تتكون نكهة تشبه الكراميل يسببها معادلات ميللارد معينة ومنتجات تسبب الكرملة ، وتسمى أيضاً "نكهة اللبن المعقم" . ويمكن تعينها في اللبن المعقم بواسطة معاملة حرارية فائقة غير مباشرة . وهي النكهة السائدة في اللبن المعقم في زجاجات ، حيث تحجب النكهات المطبوخة والكيتونية .

5.16 القيمة الغذائية *Nutritive Value*

من الجوانب التغذوية لمكونات اللبن المختلفة انظر تحت فصل 2.1.2 و4.2.2 و3.3.2 و5.4.2 وجدول 18.2 . سوف نأخذ في هذا الجزء في الاعتبار التغيرات في القيمة الغذائية نتيجة لتغيرات في التركيب أو نتيجة العمليات والتخزين .



شكل 9.16 تسجيل لمتوسط نكهات اللبن المعامل بالحرارة الفائقة بواسطة هيئة محكمي التذوق . المعاملة الحرارية عند شدات مختلفة يتم التعبير عنها بواسطة محتوى اللاكتيلوز . معاملة حرارية مباشرة (0) أو غير مباشرة (.)

Figure 16.9 Average flavor score of UHT milk by a taste panel. Heating at various intensities is expressed by lactulose content. Direct (o) or indirect (•) heating. (Adapted from P. Eberhard and P.U. Gallmann, Federal Dairy Research Institute, Liebefeld-Bern, Switzerland)

1.5.16 تعديلات للمكونات ***Modification of Composition***

اللبن مصـــدر جيد لمواد مغذية عديدة . إلا أن اللبن ذا المكونات المعدلة يتم تصـــنيعه ، عادة بسبب فوائده المغذية .

يحدث تقييس المحتوى الدهني عادة ، فمثلاً في صـــورة لبن كامل (3.5% دهن) ، اللبن المنخفض الدهن (15%) واللبن الفرز (<0.1%) . مع الدهن ، الفيتامينات الذائبة في الدهن تزال . وعلى ذلك فيتامينات A وD عادة ما يضـــاف . في بعض البلدان ، يدعم اللبن الكامل بفيتامينات D (أي 20 ميكروجرام لكل لتر) . فيتامينات أخرى نادراً ما تضاف .

تغير آخر يمكن أن يكون إحلال دهن اللبن بواسطة دهون من مصادر أخرى ، وغالباً ما تكون من أصل نباتي . وهذا شكل من أشكال اللبن المزود "filled milk" . أصلاً ، يحتوي اللبن المزود عادة على زيت جوز الهند ، ولكن هذا يكون منخفضـــاً جداً في فيتامينات A وD، ولذلك يحتاج إلى إضـــافة . الزيوت النباتية مع محتوى عالٍ من بقايا حامض دهني عادة ما يضـــاف، وهذا يميل إلى أن يكون غنياً بفيتامين D وE . الأخير تحتاجه أيضاً كمضاد للأكسدة لأن الزيوت تكون حساسة للغاية للأكسدة الذاتية ، تضاف في بعض الحالات مضادات أكسدة أخرى .

بالرغم من أن الليبيد به محتوى عالٍ من الكالســـيوم ، والذي يكون جيد الامتصـــاص ينتج اللبن المزود بالكالسيوم أيضاً . ويمكن إضافة الكالسيوم على هيئة لاكتات الكالسيوم والبيكربونات . احتمال آخر هو إضافة مخلوط ملح اللبن الذي تم الحصول عليه من الراشح الناتج عن الترشيح الفائق لشرش اللبن الحامض .

للأشـــخاص الذين يعانون من عدم تحمل اللاكتوز ، يتم إنتاج لبن خالٍ من اللاكتوز . يكون اللبن معاملاً بالحرارة الفائقة ، ثم يضـاف تحضـير معقم لإنزيم اللاكتيز ويعبأ اللبن في عبوات معقمة . يحلل اللاكتوز مائياً بعد أيام قليلة من التخزين ، إلى جلوكوز ولاكتوز . وهذا لم يكتب له النجاح . يكون المنتج مكلفاً نســبياً ، وأغلب المســتهلكين يعتبرون أن طعم اللبن حلو للغاية . الأشخاص الحساسون للاكتوز يكونون في حال أفضل عند استهلاك الألبان المخمرة (انظر تحت فصل 2.5.22) .

منتجات خاصة عديدة تم إنتاجها لمجموعة خاصة من المستهلكين مثل الأشخاص الذين يعانون من أمراض معينة أو أمراض حساسية ، ولبعض مجموعات عمرية . انظر فصل 6.16 لصيغ ألبان الأطفال . بالإضافة إلى ذلك ، هناك اتجاه لتطوير "أغذية وظيفية fun ctional foods" معتمد على اللبن ، والذي يزعم أن يعطي مزايا صحية معينة .

2.5.16 نقص المواد المغذية *Loss of Nutrients*

تتغير القيمة الغذائية للبن المبستر واللبن المعقم بمعاملة حرارية فائقة قليلاً بالمعاملة الحرارية وأثناء التخزين . يبدي اللبن المعقم في زجاجات فقداً كبيراً للقيمة الغذائية . ومما هو جدير بالذكر ، هو خفض الليسين المتاح والفقد الجزئي أو الكلي لبعض الفيتامينات . بعض البيانات تم عرضها في جدول 3.16 .

تفاعلات ميللارد هي المسئولة عن فقد جزئي لليسين . والتي توجد لحد ما في اللبن المعقم بمعاملة حرارية فائقة أثناء التخزين وفي اللبن المعقم في زجاجات أثناء التخزين . فقد الليسين ليس خطيراً في حد ذاته لأنه في بروتين اللبن ، يكون الليسين موجوداً بكميات زائدة .

فقد الفيتامينات يخص فيتامين C وبعض الفيتامينات الخمسة لمجموعة فيتامين B . فيتامين A و E حساسان للضوء والأكسدة ، ولكن غالباً تركيزهما لا يقل في اللبن المعقم . فقد الفيتامينات في اللبن يجب أن يحسب بالنسبة للبن الشرب إلى مدد هذه الفيتامينات في الغذاء الكلي . خاصة نقص فيتامينات B_1 ، B_2 و B_6 الذي يعتبر غير مرغوب فيه . فقد فيتامين C عادة له أهمية أقل في حد ذاته (اللبن غالباً ليس مصدراً هاماً لفيتامين C) ، ولكن يمكن أن يؤثر على القيمة الغذائية بطرق أخرى . يكون تكسير فيتامين C له علاقة بفيتامين B_{12} ، بالإضافة إلى ذلك ، فيتامين C يحمي حامض الفوليك من الأكسدة .

يمكن تجنب نقص الفيتامينات أثناء التخزين إذا استبعد الأكسجين (انظر جدول 3.16). فيتامينات C و B_9 يمكن أن يختفيا في خلال عدة أيام إذا توافر الأكسجين . ويكون الفقد سريعاً عند التعرض للضوء ، مع وجود الريبوفلافين (فيتامين B_2) كعامل مساعد . يختفي أغلب الريبوفلافين عند التعرض الطويل الأجل للضوء . وقد تم التعرض لتأثير التعبئة على نفاذية الأكسجين والضوء في الفصل 2.15 .

جدول 3.16 نسبة النقص التقريبي لبعض المواد المغذية في اللبن أثناء التسخين والتخزين

Table 16.3 Approximate Loss (in %) of Some Nutrients in Milk during Heating and Storage

فيتامين C Vitamin C	فيتامين B_{12} Vitamin B_{12}	فيتامين B_9 Folic Acid	فيتامين B_6 Pyridoxal	فيتامين B_1 Thiamin	الليسين Lysine	المعاملة Treatment
20-5	10-3	5-3	5-0	10-5	0	البسترة Pasteurization
20-10	20-10	20-10	10-5	15-5	0	التعقيم بالمعاملة الحرارية الفائقة المباشرة UHT sterilization, directly
[b]100-30	[b]50-20	[b]100-30	[a]50-20	[b.a]20-10	2	التعقيم بالمعاملة الحرارية الفائقة بعد 3 أشهر تخزين[c] UHT sterilization, after 3 months
60-30	60-30	50-30	20-10	40-20	10-5	تعقيم في زجاجات In-bottle sterilization

a = معتمدة على التعرض للضوء .

b = معتمدة على تركيز الأكسجين .

c = عند حوالي 25 درجة مئوية .

a. Dependent on exposure to light.
b. Dddependent on O_2^1 concentration.
c. At about 25°C.

6.16 وصفات لبن الرضع *Infant Formula*

تختلف مكونات اللبن الآدمي بشـــدة عن لبن البقر كما هو موضـــح في الجدول 4.16 . يجب أن نلاحظ أن تكوين اللبن الآدمي يتغير ، خاصة بين الأمهات كل على حدى . أيضاً يتغير اللبن بقوة خلال فترة الإدرار ، كما هو موضح في الجدول بمقارنة اللبأ (لبن الأيام القليلة الأولى بعد الولادة) واللبن الناضـج "mature milk" (بعد أسـبوعين) . الجدول غير كامل . تكون المكونات المعطاة هامة للتغذية أو تختلف بين لبن الإنســـان ولبن الأبقار . يوضـــح الجدول أيضـــاً الكميات الدنيا للمواد المغذية الموصى بها للأطفال حديثة العمر .

الدهون Lipids : محتوى الدهن الكلي هو مشـابه للبن البقري ، ولكن بقايا الأحماض الدهنية في الجلسريدات الثلاثية يبدي منظومة مختلفة تماماً . تكون الأحماض قصيرة السلسلة (أقل من 12 ذرة كربون) موجودة بصـعوبة ، يحتاج الدهن كميات كبيرة من الأحماض الدهنية العديدة غير المشـبعة . 18-22 ذرة كربون ، روابط مزدوجة 2-5 يكون محتوى الأحماض الدهنية "الأسـاسـية essential" أعلى من الموجود في لبن الأبقار .

إن أغلب حامض البالمتيك يتم أسـترته في الوضـع- 2 ، والذي يعني أنه عند التحلل الدهني في المعدة تتكون بالمتات الجليسرول الأحادية والتي تمتص في الحال بواسطة الرضع ، وهذا مختلف عن أحماض الستريك والبالمتيك الناتجة عن هضم دهن اللبن البقري . وعلى ذلك ، يتكون الدهن المستخدم لوصفة لبن الرضع عادة في أغلبة من زيوت نباتية مناسبة . وذلك يستدعي أن وصـفة لبن الرضـع تكون فقيرة للغاية في الكوليسـترول (حوالي مليجرام واحد لكل 100 مليلتر) مقارنة باللبن الآدمي (انظر جدول 4.16) .

الكربوهيدرات Carbohydrates : يحتوي اللبن الآدمي ، بجانب كميات عالية نسـبياً من اللاكتوز ، وكمية جوهرية من الأوليجوسكاريدز (السكريات القليلة Oligosaccharides) . وهذه تتكون من 3 إلى 14 وحدة سـكر ، وأغلبها لها بقايا لاكتوز وبعض مجموعات N- أسـيتيل . لم تعرف وظيفتها بالكامل بعد ، ولكن اقترح أن السـكريات القليلة تحفز نمو بكتيريا معينة في الأمعاء الغليظة ، وحيث أن هذه المركبات لا يمكن أن تحلل مائياً بواسـطة إنزيمات مسـتوطنة في المعي . تضـاف السـكريات القليلة من مصـادر مختلفة لبعض وصـفات لبن الرضـع ، في حالات أخرى ، يضاف اللاكتيلوز ، والتي تحفز نمو البكتيريا bifidobacteri .

البروتينات Proteins : انظر الجدول 5.16 لمكونات البروتين . عند تغذية طفل بلبن أبقار cows' milk ، فإن كليته تجد صـعوبة في إخراج الكميات الكبيرة للمنتجات المتحللة من أيض البروتين وخاصة بالاتحاد مع كميات كبيرة من المعادن التي يتم خروجها مع الكازين . بالإضـافة إلى

ذلك ، يعطي كازين لبن الأبقار جلطة صلبة في المعدة ، وهذه تأخذ وقتاً طويلاً قبل الهضم الكافي للجلطة للببتيدات الناتجة وتقدمها للمعي الدقيقة . لا تظهر هذه المشاكل عند التغذية على اللبن الآدمي ، نتيجة للمحتوى البروتيني المنخفض والنسبة الصغيرة للكازين (حوالي 30% من البروتين إذا ما قورن بـ 80% في لبن الأبقار) . عندما نصنع وصفة لبن الرضع من لبن الأبقار، فإن المكونات البروتينية تحتاج إلى عملية ضبط معتبرة .

يتغير مكون بروتين المصل أيضاً . ومما يلفت النظر ، غياب البيتا- لاكتوجلوبيلين من اللبن الآدمي ، ووجود نسبة كبيرة من البروتينات المضادة للميكروبات ، وخاصة الجلوبيلينات المناعية A ، الليسوزيم ، واللاكتوفيدرين . تكوين الحامض الأميني لبروتينات اللبن الآدمي والبقري لا تكون مختلفة معنوياً . وأخيراً ، يحتوي اللبن الآدمي على كمية كبيرة من النيتروجين غير البروتيني . تكون وظائف هذه المركبات غير واضحة ، تكون كثير من المواد غير قابلة للهضم .

المعادن Minerals : يكون المحتوى من المعادن (الأملاح غير العضوية) في اللبن الآدمي (حوالي 0.2%) أكثر انخفاضاً عن لبن الأبقار (0.6 إلى 0.7%) . ويكون هذا مطابقاً مع المحتوى المنخفض للبروتين والعالي للاكتوز (انظر تحت فصل 1.2.7.2) . تكون محتويات بعض العناصر النادرة ، وخاصة الحديد والنحاس ، عالياً نسبياً .

يكون المحتوى المنخفض للبروتين وفوسفات الكالسيوم في اللبن الآدمي بالمقارنة باللبن البقري ذا صلة واضحة لمعدل النمو النسبي للطفل تكون أكثر بطئً من تلك الموجودة في العجل .

الفيتامينات Vitamins : للجزء الأكبر ، تكون الفروق بين لبن الإنسان ولبن البقر صغيرة للغاية ، ولكن محتويات بعض الفيتامينات تكون أعلى كثيراً في لبن الأبقار . وهذا لا يسبب أي مشاكل .

جدول 4.16 مكونات[a] لبن الإنسان والأبقار والاحتياجات الأدنى لوصفات[b] لبن الرضع

Table 16.4 Composition[a] of Human and Cows' Milk and Minimum Requirements for Inant Formulas[b]

المكونات Component	الوحدة Unit	اللبأ الآدمي[c] Human Colostrum	اللبن الآدمي[c] Human	لبن الأبقار Cows' Milk	اللازم لكل 300 كيلوجول Required per 300 kj
Energy طاقة	KJ	240	300	290	
Fat الدهن	g	2.5	4.2	4.0	3
Linoleic acid حامض اللينوليك	mg		400	70	200
α-Linolenic acid ألفا حامض اللينوليك	mg		40	15	35
Cholesterol الكولسيترول	mg	25	20	13[d]	
Lactose اللاكتوز	g	5.0	6.3	4.6 / 0.1	5
Other saccharides سكريات أخرى	g	1.8	1.3		
Protein البروتين	g	1.6	0.8	3.3	1.3
NPN compounds مركبات NPN	g	0.5	0.5	0.1	
Calcium الكالسيوم	mg	30	35	11.5	35
Magnesium الماغنسيوم	mg	3.5	3	11	4
Zinc الزنك	mg	1	0.3	0.4	0.35
Iron الحديد	ug	75	80	20	140
Copper النحاس	ug	60	40	2	30
Phosphorus الفوسفور	mg	14	14	95	18
Iodin اليود	ug		7	5	3.5
Vitamin A فيتامين	RE[e]	200	80	45	14.0
Vitamin D فيتامين	ug			45	30
Vitamin E فيتامين	mg	1	0.4	0.1	0.5
Thiamin, B_1 الثيامين	ug	2	17	45	30
Riboflavin, B_2 الريبوفلافين	ug	30	30	180	40
Niacin النياسين	mg	0.06	0.2	0.5	0.6-0.2
Vitamin B_6 فيتامين	ug		6	65	25
Folic acid حامض الفوليك	ug		5	5	3
Vitamin B_{12} فيتامين	ug		0.01	0.4	0.1
Ascorbic acid حامض الأسكوربيك	mg	4	4	2.2	6

a. Not complete, approximate.	a ليس كاملاً تقريباً
b. For babies below 6 months old.	b للأطفال تحت 6 أشهر
c. Amounts per 100g milk.	c الكميات لكل 100 جرام لبن
d. Cows' skim milk: 2mg.	d لبن الفرز البقري : 2 مليجرام
e. Retinol equivalent = µg retinol + µg carotene/6.	e مكـافئ الريتينول = ميكروجرام ريتينول + ميكروجرام كاوتين/6 .

جدول 5.16 البروتينات في لبن الإنسان والأبقار

Table 16.5 Proteins in Human and Cows' Milk

البروتين Protein	اللبأ الآدمي Human Colostrum	اللبن الآدمي Human Milk	لبن الأبقار Cows' Milk
Casein كازين	5[a]	2.5[a]	26
α-Lactalbumin ألفا- لاكتألبومين	3	2	1.2
β-Lactoglobulin بيتا لاكتوجلوبيلين	0.0	0.0	3.2
Serum albumin ألبيومين المصل	0.4	0.3	0.4
Immunoglobulins جلوبيلينات مناعية	2.5	0.8	0.7
Lactoferrin لاكتو فيررين	3.5	1.5	<0.1
Lysozyme ليسوزيم	0.5	0.5	10^{-4}

ملاحظة : متوسط تقريبي بالجرام لكل كيلوجرام ، غير كامل

a السائد هو بيتا وكابا كازين

Note: Approximate averages in grams per kg; incomplete.
a. Predominantly β- and κ-cassein.

1.6.16 مكونات وتصنيع الوصفة *Formula Composition and Manufacture*

يجب أن يستجيب مكونات الوصـفة للكميات الموصـى بها ، التي تم عرضـها في الجدول 4.16 (لا تختلف التوصـيات كثيراً بين بلد وأخرى) . تسـتخدم عادة اللبن الفرز والشـرش المحلى بنسبة 1 إلى 5 . لا يجب أن يحتوي الشـرش على آثار زائدة لحامض اللاكتيك أو نيترات مضـافة.

جزء من الشـــرش يجب أن يزال الملح منه المحتوى الكربوهيدراتي يمكن رفعهما بإضـــافة اللاكتوز أو براشــح الترشــيح الفائق UF . تضــاف الســكريات القليلة (أو اللكتيلوز Lactulose) في بعض الأحيان . يكون الدهن عادة مخلوط من زيوت نباتية محتوية على أحماض دهنية أســاســية كافية ، وفيتامينات ذائبة في الدهن . فيتامين C يضـــاف عادة ، وكذلك فيتامينات A و D و E عند الحاجة ، التقوية بالحديد والنحاس إضافات شائعة .

هذه جميعاً تخص وصـفة الأطفال الأصـحاء حتى عمر سـتة أشـهر . للأطفال فوق سـتة أشـهر ، مكونات الخليط تكون مختلفة ، عادة ما تشـتمل على نســب عالية من لبن الفرز Skim milk . بعض المنتجات يحتاجها الأطفال المولودة قبل الميعاد أو للأطفال الذين يعانون من أمراض الحساسية أو بعض الأمراض الأيضية إلى بعض المنتجات الأخرى .

يشـمل التصـنيع عادة خلط رطب للمكونات ، وتجنيس مسـبق Preemulsi fication متبوعاً عملية بسـترة وتجنيس . وعادة ما تضـاف مادة مسـاعدة لتكوين المسـتحلب ، ولكن ذلك ليس ضـرورياً . يمكن أن تصنع بعد البسـترة لمنتجات سـائلة أو مجففة. بالنسبة للمنتجات السـائلة، يعقم اللبن بمعاملة حرارية فائقة UHT ، متبوعاً بواســطة تعبئة معقمة في علب من الكرتون . تنتج المنتجات المركزة التي عقمت في زجاجات أو علب أيضـاً . عندما نصنع الوصـفات التي تم سـحقها على هيئة بودرة ، يركز اللبن بواســطة التبخير ، متبوعاً بواســطة التجفيف بالرذاذ ، يجب أن تكون البسـترة شـديدة وكافية لقتل جميع مسببات الأمراض . انظر فصـل 20 عن تصـنيع مسـاحيق الألبان (البودرة) ، والتعبئة والتخزين .

مراجع مقترحة

معلومات عامة عن الشرب :

Factors affecting the keeping quality of heat treated milk. IDF Bulletin 130, Brussels, 1981: Monograph on Pasleurized milk, IDF Bulletin 200, Brussels. 1986.

معلومات مختلفة عن المعاملة الحرارية الفائقة UHT والتعبئة المعقمة :

New monograph on UHT milk. IDF Bulletin 133, Brussels, 1981.

معلومات عملية عن المنتجات اللبنية المعاد جمعها :

Recombination of milk and milk products, IDF Bulletin 142, Brussels, 1983.

كثير عن النكهة والتقييم الحسي

F.W. Bodyfelt. J. Tobias, and 6. M. Trout. The Sensory Evaluation of Dairy Products. AVI, New York, 1988.

القيمة الغذائية للبن

E. Renner. Milk and Dairy Products in Human Nutrition. Volkswirtschaftlicher Verlag, Munchen, 1983

معلومات عن اللبن الآدمي ووصفات لبن الرضع

H. Roginski et. al., Eds. Encycolpedia of Dairy Sciences.
Academic Press. 2003 by A. Darragh and by D.M. O'callaghan and J.C. Walingford, respectively.

17 منتجات القشدة Cream Products

17 منتجات القشدة *Cream Products*

تباع القشــدة في أصــناف عديدة . يمكن أن يتراوح محتوى الدهن بين 10% إلى 48% . بالرغم من استخدامها لأغراض عديدة . وهي في البداية شـيء ترفي وبالتالي لها نكهة مميزة بسـبب محتواها الدهني العالي . فمثلاً ، اللبن الذي له حموضة دهن قدرها ميلي مول واحد لكل 100 جرام دهن ســوف لا يكون له نكهة مزنخة صــابونية يســتقبلها معظم الناس ، ولكن القشــدة المخفوقة المصــنوعة منه ســوف يكون مذاقها مزنخاً بالتأكيد لأن نكهة الدهن غير المرغوبة تصــبح مركزة . وعلى ذلك ، يجب أن يخلو اللبن من العيوب بالنسبة لتحلل الدهن وأكسدته .

يســـتخدم دهن اللبن غير المائي في بعض الأحيان في منتجات القشـــدة ويعاد خلطه . يمكن أن يكون لمثل هذا الدهن نكهة مؤكســـدة ولا يخلو من العيوب في هذا الصـــدد ، يمكن أن يكون طعم المنتج أقل غنى نتيجة لغياب مكونات من غشاء كريات دهن اللبن .

بجانب القشـدة الملساء Plain cream ، تصـنع بعض المنتجات المشـقة ، مثل القشـدة الحامضــية Sour cream (انظر تحت فصــل 2.1.2.22) والآيس كريم . وهنا ســوف نغطي ثلاثة منتجات ، تم اختيارها لتوضيح أغلب الجوانب النوعية والتكنولوجية الهامة .

1.17 القشدة المعقمة *Sterilized Cream*

هذا النوع من القشـــدة به حوالي 20% دهن (القشـــدة الخفيفة) . يجب أن تكون نوعية الحفظ جيدة وضــرورية لأن مســتهلكين كثيرين يســتخدمونها بكميات قليلة لمدة طويلة من الوقت أو يريدون الاحتفاظ بها لمناسـبات خاصـة . ليس الثبات الكيميائي مشـكلة ، بالرغم من حدوث تفاعلات ميللارد أثناء التخزين طويل الأجل . ويحدث تدهور بســبب المعاملة الحرارية الشــديدة ،

نتيجة للأكسدة نادراً وكذلك الحال بالنسبة للتحلل الدهني . يمكن أن يكون التدهور الفيزيائي معتبراً بسبب التقشيد نتيجة الجاذبية وتكتل الدهن وخروج الزيت Oiling off . وعلى ذلك ، يجب تجنيس القشدة . إذا خزنت القشدة لفترة طويلة فإنها تصبح أكثر سماكة بمرور الوقت من حدوث الهلام ، أو تصبح خشبية .

تستخدم أغلب القشدة في القهوة ومن هنا جاء الاسم قشدة القهوة ، من المهم ألا تكون القشدة ما يشبه الريش Feather في القهوة لأنها تسبب عكارة كافية بعد تخفيفها بالقهوة . وفوق ذلك ، لا يجب ظهور قطرات الزيت على سطح القهوة . ليس هناك اعتراض على نكهة التعقيم Sterilization flavor عادة لأنها تحجب كلياً في القهوة .

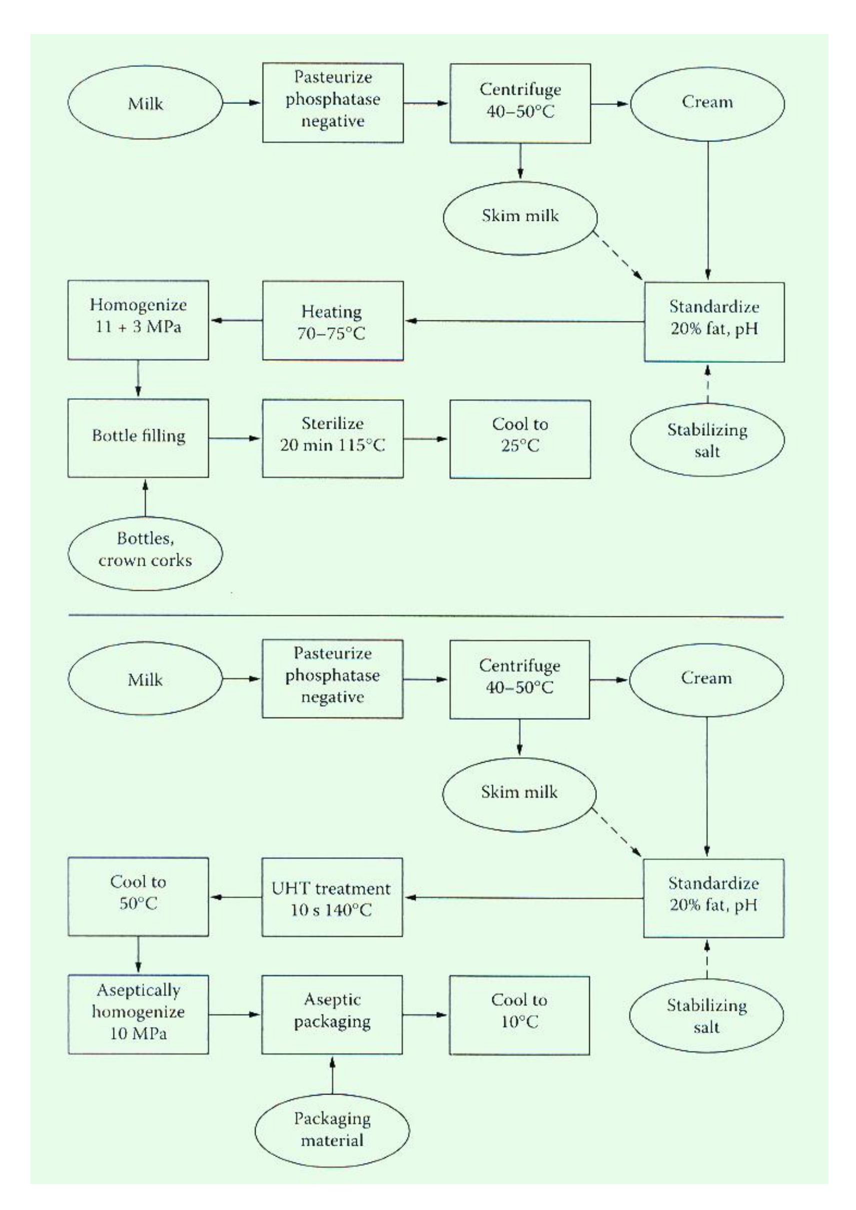
تستخدم قشدة الحلوى Dessert cream مثلاً في الفاكهة . تكون نكهة نقية مهمة ، لأن لونها أبيض ولها لزوجة عالية نسبياً . تصنع في بعض الأوقات قشدة سميكة للغاية .

1.1.17 التصنيع *Manufacture*

شكل 1.17 يوضح شكل تخطيطي لعملية تصنيع تقليدية لقشدة القهوة المعقمة في زجاجات . وبالتالي ، يمكن أن ينزع دسم اللبن الخام المعامل حرارياً ، والقشدة المتحصل عليها يمكن أن تقيس ، وتبستر وتجنس عند درجة حرارة البسترة . التأثير المعقم لحوالي 9 للبكتيريا باسيلس سيبتيليس *Bacillus subtilis* هو عادة القاعدة .

شكل 1.17 أيضاً يوضح تصنيع القشدة المعاملة بالحرارة الفائقة UHT– لوقت قصير . في هذه الحالة ، يجب أن تجنس القشدة بعد عملية تعقيم . سوف تسبب المعاملة الحرارية الفائقة تجبن البروتين وكريات الدهن ومن المحتمل أن تسبب التحام كريات الدهن .

إذا رغب في تصنيع قشدة عالية اللزوجة ، سوف تجنس القشدة عند درجة حرارة منخفضة وفي مرحلة واحدة لكي تنتج عناقيد مجنسة بكميات كبيرة .



شكل 1.17 أمثلة لتصنيع قشدة القهوة (أعلى) وقشدة الحلوى (أسفل) ملح التثبيت المضاف هو $Na_3C_6H_5O_7.5H_2O$ %0.15

Figure 17.1 Examples of the manufacture of coffee cram (top) and dessert cream (bottom). Stabilizing salt added is 0.15% $Na_3C_6H_2O_7 . 5H_2)O$

2.1.17 الثبات الحراري ***Heat Stability***

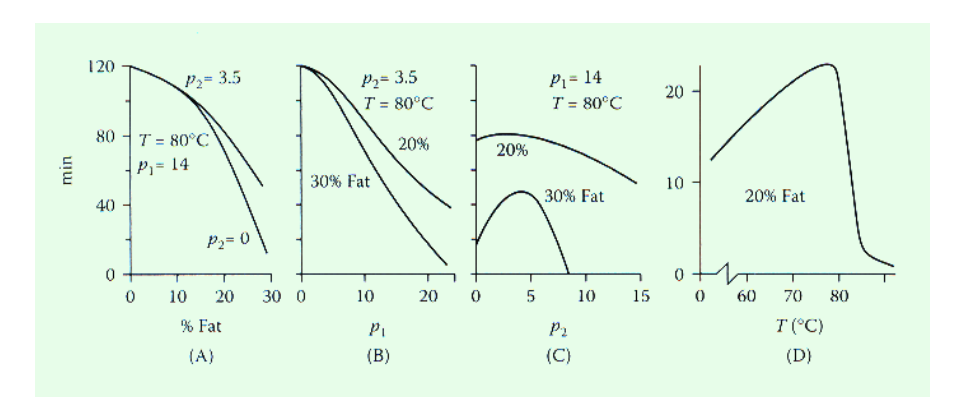
لقد تمت مناقشة جوانب عامة للثبات الحراري في تحت فصل 4.2.7 . عند عمل قشدة معقمة فإنه من الصعب أن نتجنب التجبن أثناء التعقيم بينما في نفس الوقت يجنس المنتج بدرجة كافية لمنع التقشيد السريع والالتحام الجزئي لكريات الدهن . يكون التجنيس مسئولاً عن الثبات الضعيف لحرارة التجبن (انظر فصل 6.9 وشكل 11.9 أيضاً) . بالرغم من أن الثبات الحراري للقشدة (مثل اللبن المبخر) يمكن تحسينه بضبط الأس الهيدروجيني وإضافة الأملاح المثبتة (مثل السيترات) ، المتغيرات الأساسية هي الأحوال السائدة أثناء عملية التجنيس (انظر شكل 2.17) . ويظهر أنه كلما ازدادت مساحة سطح كريات الدهن المغطى بالكازين فإن القشدة تصبح أقل ثباتاً . وبسبب ذلك ، فإن التسخين المسبق عند درجات حرارة عالية لا يساعد في ذلك ، ويسبب ترسيب بروتينات المصل لدرجة أن جزءاً كبيراً من السطح البيني بين الماء- الزيت يغطى بالكازين . بالإضافة إلى ذلك ، سوف يختصر وجود عناقيد مجنسة وقت التجبن الحراري (فصل 7.9 وتحت فصل 4.1.17) .

كلما ارتفع ضغط التجنيس ، كلما انخفض الثبات الحراري . بالإضافة إلى ذلك ، سوف يسبب التقشيد والالتحام الجزئي مشاكل عند ضغط تجنيس منخفض . وعلى ذلك ، يجب أن نبحث عن حل وسط . وينصح بعمل توزيع ضيق لحجم كريات الدهن كلما أمكن ذلك (انظر فصل 3.9) .

3.1.17 الثبات في القهوة ***Stability in Coffee***

يكون تريش القشدة في القهوة ناتجاً عن تجبن كريات الدهن ويحدث ذلك موازياً للثبات الحراري . وبالتالي ، تكون القشدة المعاملة بالحرارة الفائقة حساسة لعملية التريش Feathering . في تصنيعها (شكل 1.17) لا تبرز مشاكل مع التجبن الحراري ، ولكن التريش يحدث إذا كان ضغط التجنيس عالياً للغاية . بالإضافة إلى ذلك ، تكون القشدة المعاملة بالحرارة الفائقة مسئولة عن زيادة سمكها مع مرور الوقت (انظر تحت فصل 5.1.19) أو أن تبدي تجمعاً أثناء التخزين . تبدأ الظاهرة الأخيرة مع تجمع كريات الدهن . وحالاً ، سوف يؤدي ذلك إلى تريش القشدة في القهوة يعتمد التريش بوضوح على درجة الحرارة ، والأس الهيدروجيني ونشاط أيون الكالسيوم في

القهوة ، وأيضاً ، يمكن أن تتحسن الثباتية في القهوة بزيادة محتوى الدهن غير الصلب للقشدة ، ومن المحتمل أنها تعمل كمنظمات لأيون الهيدروجين H^+ والكالسيوم Ca^{2+} في القهوة .



شكل 2.17 الثبات الحراري (وقت التجبن عند درجة حرارة 120 مئوية) للقشدة كعلاقة بالظروف السائدة أثناء التجنيس . P_1 هو الضغط قبل المرحلة الأولى ، P_2 الضغط قبل المرحلة الثانية (MPa) ، T درجة حرارة التجنيس . التجارب A و B و C في علب من الصفيح ساكنة ، D في أنابيب دوارة

Figure 17.2 Heat stability (coagulation time at 120°C) of cream as related to the conditions during homogenization. P_1 is pressure before the first stage, p_2 before the second (MPa); *T* is homogenization temperature. A, B, C, tests in stationary cans; D, in rotating tubes. (After H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

4.1.17 تكون العناقيد *Clustering*

يجب أن تكون قشدة الحلوى Dessert cream إلى حد ما لزجة . ولعل أوضح طريقة لتحقيق ذلك بواسطة تكوين العناقيد المجنسة ، وعلى ذلك يمكن أن تضاف العوامل المسببة للسماكة مثل (Thickening agents) ، كارجينات Carageenan ، والجينات Alginate بنجاح . تؤثر مؤشرات على تكوين العناقيد تمت مناقشتها في فصل 7.9 ، وتحت فصل 1.7.4 ، وتعطي جوانب رئيسية للزوجة .

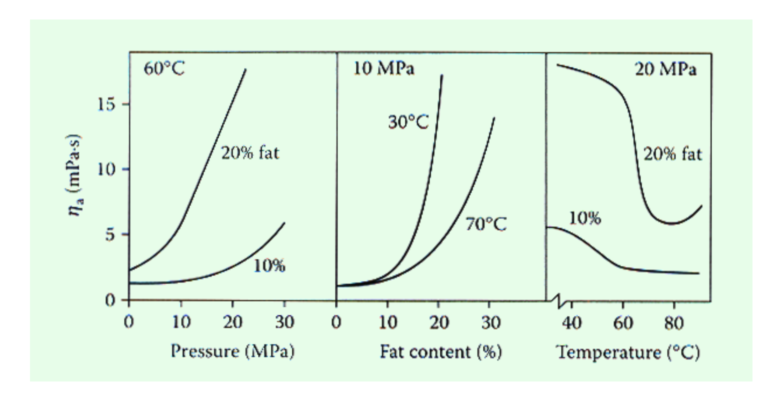
إن العوامل الأساسية التي تؤثر على اللزوجة تم تلخيصها في شكل 3.17 . عند محتوى دهني معين ، تكون درجة تكون العناقيد مسئولة عن الاختلافات التي يمكن ملاحظتها . تكون العناقيد يزيد اللزوجة لأن الكسر الحجمي المؤثر لكريات الدهن يزداد ، أولاً ، بسبب البلازما المحصورة بين كريات الدهن (هذا الجزء من البلازما يكون أساساً غير متحرك) وثانياً بسبب الشكل غير المنتظم للعناقيد (تجعل العناقيد تشغل حجماً أكبر نسبياً عندما تدور نتيجة لقوة الجز). كلما ارتفع محتوى دهن القشدة تزداد اللزوجة نتيجة لأن عناقيد كريات الدهن تكون أقوى . بالإضافة إلى ذلك ، فإن العناقيد نفسها تكون أكثر شمولاً لمحتوى دهني أعلى .

يمكن أن تقل اللزوجة بشكل ملحوظ بواسطة تجنيس ثانٍ عند ضغط أكثر انخفاضاً ، العناقيد المجنسة يحدث لها اختلال جزئي مرة أخرى . (وعلى ذلك يحدث انخفاض في الحجم) ، بالإضافة إلى ذلك ، تكون العناقيد المتبقية أكثر استدارة . ويمكن إنجاز نفس الشيء يتعرض عناقيد القشدة لقوة الشير (الجز Shear) ، فمثلاً ، في جهاز قياس لزوجة (Viscometer) ، وشكل 4.17 يوضح النقص الحادث في اللزوجة بازدياد معدل الشير . كلما زاد المعدل ، كلما ازداد اختلال العناقيد . الأخيرة لا يعاد تكونها بانطلاق الشير ، كما توضح عروة الاضطراب The hysteresis loop .

شكل 4.17 يوضح أن اللزوجة تقل بزيادة معدل الشير . وبكلمة أخرى ، المنتج يكون له معدل شير رقيق "shear- rate thinning" ولها لزوجة ظاهرة . يوضح الشكل أيضاً أنه إذا تعرضت القشدة لمعدل شير مرتفع ، فإن اللزوجة سوف تبقى منخفضة حتى عند معدل شير منخفض . معدلات شير عالية يجب تجنبها أثناء الضخ والتعبئة إذا استعادت القشدة المجنسة لزوجتها العالية . سوف يحدث المستهلك معدلات شير منخفضة ولنقل 20 ثانية$^{-1}$ عندما يصب قشدة الحلوى مثلاً .

إذا صُنعت قشدة تشبه في محتوياتها البودنج Pudding- like consistency فإنه يمكن أن تجنس عند درجة حرارة منخفضة حيث يكون جزء صغير من الدهن صلباً وتتكون كتل حقيقية

من كريات الدهن . يكون المنتج الناتج حسـاسـاً جداً لدرجة الحرارة ، لدرجة أن التسـخين لدرجة 35 مئوية يسبب فقداً للقوام وخروج الزيت .



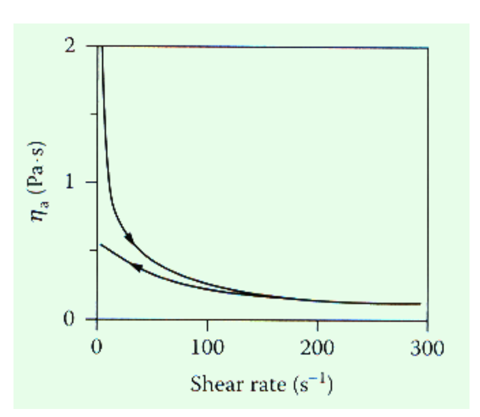
شكل 3.17 تأثير بعض العمليات ومتغيرات المنتج على اللزوجة الظاهرة (η_a) للقشدة المجنسة . أمثلة تقديرية . درجات الحرارة والضغوط تشير إلى الظروف السائدة أثناء التجنيس

Figure 17.2 Influence of some process and product variables on apparent viscosity (η_a) of homogenized cream. Approximate examples. Temperatures and pressures refer to conditions during homogenization. Viscosity measured at room temperature. (Adapted from H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

القشدة المكتلة Clustered cream من الصعب أن تبدي تقشيداً بعد التجنيس ، وذلك لأن المحتويات الكلية للزجاجة تكون مشـابهة لكتلة كبيرة . وهذه يمكن أن تكون مضـغوطة بواسـطة الجاذبية مسببة طبقة منفصلة من بلازما اللبن تظهر في قاع الزجاجة .

2.17 القشدة المخفوقة *Whipping Cream*

تحتوي هذه القشـــدة على 35% دهن . وقد صـــممت لكي تخفق داخل رغوة ، عادة بإضافة السكر . وتكون عادة متوافرة كمنتج مبستر في زجاجات صغيرة ، أكواب بلاستيكية ، أو صفائح كبيرة وتباع أيضاً كشقدة معقمة في علب من الصفيح .



شكل 4.17 مثال لتأثير معدل الشير على اللزوجة الظاهرية (η_a) للقشدة المجنسة (17% دهن ، التجنيس يتم عند 40 درجة مئوية وضغط قدره 21 MPa) ، القياسات عند معدلات شير متزايدة تكون متبوعة بواسطة عند معدلات منخفضة

Figure 17.4 Example of the influence of the shear rate on apparent viscosity (η_a) of homogenized cream (17% fat, homogenization at 40°C and 21 MPa); measurements at increasing shear rates were followed by those at decteasing rates. (Adapted from H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

1.2.17 خواص مرغوبة *Desirable Properties*

الاحتياطات الخاصة الأكثر أهمية هي :

1. النكهة Flavor : يؤكل المنتج بسبب نكهته ، والتي يجب أن تكون غنية بوضوح النكهات المتزنخة والشحمية في اللبن الأصلي يجب تجنبها بشدة . يكون هذا الاحتياج أكثر أهمية عن قشدة القهوة . ليس كل فرد يفضل النكهة المعقمة أو حتى نكهة مطبوخة واضحة وبسبب ذلك تكون القشدة مبسترة .
2. المحافظة على الجودة Keeping quality : يمكن أن تحدث أنواع كثيرة من الفساد ، ولكن من المفضل غالباً أن تخزن القشدة لمدة طويلة . يجب ألا يحتوي اللبن الأصلي على أكثر من بكتيريا قليلة مقاومة للحرارة ، وفوق ذلك ، بكتيريا باسيلس سيريس *Bacillus cereus*

كائن دقيق مخرب للقشدة المخفوقة (يسبب عدم ثبات المستحلب الدهني) لا يجب أن يحدث نمو للبكتيريا المحبة للبرد في اللبن الأصلي لأنها تكون ليبيزاً مقاوماً للحرارة . ولكي نسمح بفترة صلاحية طويلة ، يجب أن تعبأ القشدة المبسترة تحت ظروف صحية أو حتى ظروف معقمة . إعادة التلوث بواسطة البكتيريا عادة ما ترفع الشكوى . وعلى ذلك ، تسخن القشدة المبسترة في بعض الحالات بواسطة البسترة في زجاجات أو في علب صفيح .

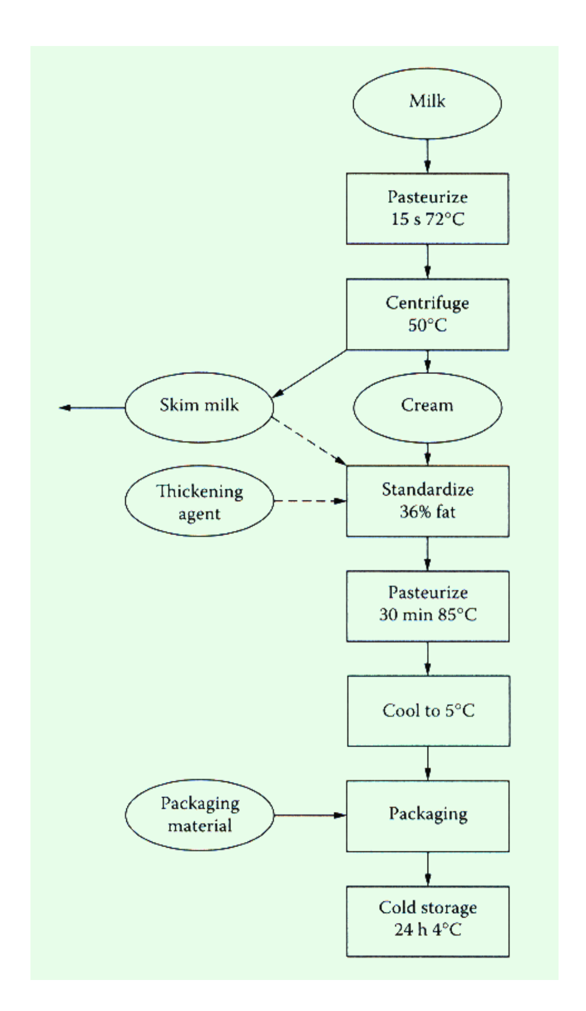
تسبب الأكسدة الذاتية التلوث حتى بكميات ضئيلة من النحاس وبالتالي تتكون نكهة غير مرغوبة . يمكن أن يؤدي بعض الالتحام لكريات الدهن أثناء التصنيع بسرعة إلى تكون سدادة قشدة Cream-plug أثناء التخزين . يؤدي وجود سدادة قشدة أن المنتج يمكن أن يزال بصعوبة من الزجاجة ، بالإضافة إلى ذلك ، سوف يتم خض القشدة بدلاً من خفقها أثناء الضرب في الهواء .

3. الخفق Whippability : في دقائق قليلة يجب خفق القشدة بسهولة لتكون منتجاً مجنساً ثابتاً، يحتوي على 50 إلى 60% (حجم/حجم) من الهواء ، مكافئة لـ 100 إلى 150% زيادة في الحجم overrun (ال... هو نسبة زيادة الحجم نتيجة لاحتوائه على الغاز) .
4. الثبات بعد الخفق Stability after whipping : يجب أن تكون القشدة المخفوقة ثابتة بشكل كافٍ لاستعادة شكلها ، تبقى ثابتة أثناء التشوه (كما في زخرفة الكيك) ، ولا تشمل على هواء شديد بالخلايا . ولا تظهر تسرباً للسائل .

2.2.17 التصنيع *Manufacture*

يكون التصنيع الكلاسيكي للقشدة المخفوقة بسيطاً للغاية ، مثال ذلك موضح في شكل 5.17 . تكون بسترة القشدة كافية لتثبيط ليبيز اللبن . تكون عادة المعاملة الحرارية أكثر شدة لكي نحسن الحمل البكتيري ، ولتكوين مضادات الأكسدة الحرارية تكون أكثر شدة لكي نحسن الحمل البكتيري ، ولتكوين مضادات الأكسدة (H_2S) . طريقة التسخين ، وكذلك شدة التسخين ، تختلف بصورة واسعة ، وقت البسترة (30 دقيقة عند درجة حرارة 85 مئوية) ، التسخين في مبادل حراري (من المحتمل فوق 100 درجة مئوية) ، التسخين في مبادل حراري (من المحتمل فوق 100

درجة مئوية) ، والتســخين في زجاجة أو علبة (ولنقل 20 دقيقة عند 103 درجة مئوية) تسـتخدم . وبالمثل التتابع التصنيعي ، حرارة الفصل ، وهلم جرا تختلف بصورة واسعة .



شكل 5.17 مثال لتصنيع القشدة المخفوقة

Figure 17.5 Example of the manufacture of whipping cream

هدم كريات الدهن ، خاصة الالتحام الجزئي ، يجب تجنبه . اللبن وخاصة القشدة يجب أن يتم تناوله بلطف . القشدة لا يجب تصنيعها أو ضخها إلا إذا لم يكن الدهن في صورة سائلة كلياً أو صلبة أي فقط عند درجة حرارة أقل من 5 درجات مئوية أو فوق 40 درجة مئوية . وعلى ذلك ، ملئ الزجاجات بالقشدة الساخنة متبوعة بعملية تبريد تكون مفضلة، ولكن ذلك غير اقتصادي . ولكي تكون جاهزة للخفق عند التوصيل ، تحتاج القشدة أولاً للحفظ مبردة في المبرد لمدة يوم لكي نتأكد أن كل كريات الدهن تحوي بعض الدهن الصلب ولكي نمنع التقشيد أثناء التخزين ، يضاف عامل لإحداث السماكة Thickening agent (0.01% كابا- كاراجينات) . وهذا يسبب ضغطاً صغيراً على القشدة ، فمثلاً ، ضغط قدره 10 mpa ، يكون كافياً لوقف أي حركة لكريات الدهن .

منتجات محورة ***Modified Products***

يمكن أن تحور عملية التصنيع بطرق مختلفة . يمكن أن تعقم القشدة ، عادة بمعاملة حرارية فائقة UHT ويعقبها تعبئة معقمة . ولكي نحافظ على ثبات القشدة أثناء عمليات التحضير والتخزين ، فيجب تجنيسها . ويؤدي هذا إلى خفق خفيف ، واحتياطات إضافية يجب أن تتخذ (انظر تحت فصل 3.2.17) وحتى ، تقلبات درجة الحرارة أثناء تخزين القشدة يمكن أن تسبب إعادة التشكيل Rebodying ، وهو شكل من الالتحام الجزئي (انظر تحت فصل 2.2.2.3 ، البند 7) ، والذي يجعل المنتج غير مناسب للخفق .

تحور آخر هو استبدال دهن اللبن بواسطة دهن نباتي ، وهذا يستخدم إعادة التكوين . يتكون منتج مختلف تماماً هو القشدة المخفوقة الفورية . تعبأ القشدة في علبة من الصفيح بها جو من N_2O تحت ضغط قدره 8 بار . عند تخفيف الضغط ، تترك القشدة العلبة من خلال الفوهة والتي تتحول في الحال إلى رغوة . القشدة المخفوقة جاهزة التحضير يمكن إنتاجها كذلك ، عادة في شكل مجمد . كل هذه المنتجات يلزمها ضبط للمكونات ، خاصة طبقات سطح كريات الدهن .

3.2.17 عملية الخفق ***The Whipping Process***

انظر تحت فصــل 2.2.2.3 الالتحام الجزئي وتحت فصــل 3.2.3 للتداخلات بين كريات الدهن وفقاعات الهواء .

سوف يؤخذ الخفق النموذجي للقشدة بالمضرب في الاعتبار أولاً . تحدث العمليات التالية :

1. تضرب فقاعات الهواء الضخمة داخل القشدة .
2. تتكسـر فقاعات الهواء إلى فقاعات أصـغر ، بطريقة يمكن مقارنتها بتكسـير كريات الدهن في المجنس .
3. تتصادم فقاعات الهواء مع بعضها ويمكن أن تلتحم .
4. يمتص البروتين على السطح بين الماء– الهواء ، والذي بواسطته ينخفض معدل الالتحام كثيراً.
5. يمكن أن تندمج فقاعات الهواء مع الهواء الموجود فوق القشـــدة ، وعلى ذلك تختفي . معدل العمليات 3 و4 و5 يكون أعلى للكســر الحجمي الأعلى للهواء (φ_a) ، الفقاعات الأكبر ، واللزوجة المنخفضة للجهاز Lower viscosity of the system .
6. تتصـــادم كريات الدهن مع فقاعات الهواء وتصـــبح ملتصـــقة معها (انظر تحت فصـــل 5.1.1.3) .
7. ينتشر بعض الدهن السائل من كريات الدهن فوق السطح بين الماء – الهواء .
8. يحـدث التحـام جزئي لكريـات الـدهن. وهنـا يمكن حـدوثـه في حـالـة البلازمـا Plasma Phase . نتيجة لمنحدر اللزوجة العالي ، وأيضاً عند سطوح فقاعات الهواء ، نتيجة لالتحام فقاعات الهواء . يجذب النقص الناتج لمســاحة ســطح الفقاعة الكريات المدمصــة بالقرب من بعضــها ، والدهن الســائل على الســطح بين الماء – يمكن أن يعمل الهواء نعامل لاصق . وبالتالي تتكون كتل كبيرة .

تحدث هذه العمليات في الحال ، بالرغم من أن معدل العملية (1) يقل فجأة ، لأن النظام يصبح لزجاً ، والعملية (8) تبدأ ببطء .

يجب أن تؤدي عملية الخفق إلى تركيب معين ، فيه (1) يضغط الهواء 50 أو 60% من حجمه ، (2) فقاعات الهواء تكون من 10 إلى 100 ميكرومتر في القطر .
(3) تغطى الفقاعات بالكامل بواسطة كريات الدهن وكتل كريات الدهن ، و(4) وكريات الدهن المتكتلة تصنع شبكة ممتلئة بالفراغات خلال حال البلازما Plasma phase . تصنع هذه الشبكة أيضاً اتصالاً مع الفقاعات . وبهذه الطريقة ينتج منتج ثابت نسبياً ، ناعم وصلب .

1.3.2.17 معدلات التغيير *Rates of Change*

على أي حال ، سوف يتم الحصول على هذه النتيجة اعتماداً على المعدلات النسبية التي عندها تحدث العمليات السابق ذكرها . بافتراض أن فقاعات هوائية قليلة تم تكونها بسرعة كافية ، فإن معدلان يكونان ضروريان . الأول هو معدل ارتباط كريات الدهن بفقاعات الهواء . التغطية الكاملة بالكريات أو الكتل الصغيرة يكون الحاجة إليها لمنع التحام الفقاعات . المعدل الثاني هو معدل الالتحام الجزئي . إذا كان بطيئاً للغاية ، سوف لا تتكون شبكة صلبة في وقت معقول . إذا كان سريعاً للغاية ، فإن حبيبات قشدة يمكن رؤيتها سوف تتكون (انظر تحت فصل 2.2.18) ، لا تتكون شبكة مرضية في الحالتين . ولكي نصنع ذلك في صورة مبسطة . فإننا نحتاج إلى توازن بين عملية الخفق والخض . شكل 6.17 يوضح معدلات التغيرات الحادثة أثناء عملية الخفق . ومن الواضح أن الخض عادة ما يتفوق ويسود ، وعلى ذلك يجب وقف الضرب قبل أن تصبح الكتل كبيرة جداً .

عدة عوامل لها تأثير على المعدلات المختلفة . أولها سرعة الخفق أو الضرب . يجب أن تتحرك أسلاك المضرب خلال السائل عند معدل متر واحد لكل ثانية على الأقل لتحقيق خفق في خلال وقت معقول . عندما نزيد معدل الخفق ، مثلاً من واحد إلى 3 متر/ثانية ، يقل وقت

الخفق بصورة ملموسة ، ولنقل من 10 إلى ثانية واحدة . ومع ذلك ، يعتمد الوقت أيضاً على حجم الوعاء وشكل جهاز الخفق . بزيادة معدل الخفق ، فإن معدلات أغلب التغيرات المذكورة تزداد . خاصة العمليات 1 و2 و6 و8 . محتوى الدهن أيضاً له تأثير كبير كما هو موضح في شكل 7.17 ، ولكن التأثير يعتمد على شدة الخفق . كلما كان الخفق أسرع ، كلما انخفض المحتوى الدهني الذي تتكون عنده رغوة ثابتة وارتفاع الحجم overrun عند محتوى دهني منخفض ولنقل <20% ، تكون كريات دهن غير كافية موجودة لتثبيته فقاعات الهواء ، يقل زيادة الحجم نتيجة لعملية الخفق overrun بانخفاض المحتوى الدهني .

وكما ذكر سابقاً ، معدل الالتحام الجزئي له أهمية قصوى . وهو يزداد بزيادة معدل الخفق والمحتوى الدهني . بالإضافة إلى ذلك ، يزداد معدل الزيادة كحجم الكتل (انظر شكل 6.17) . متغير آخر هام هو محتوى الدهن الصلب (انظر شكل 12.3 c) . في التطبيق ، هذا يعني أن درجة حرارة الخفق تكون متغيراً أساسياً . عند درجة 5 مئوية يكون الالتحام الجزئي بطيئاً ، ويحتاج وجود فقاعات هواء ، إذا احتوى الدهن على محتوى دهن صلب عالٍ جداً عند درجة حرارة منخفضة ، فإن القشدة يمكن بصعوبة أن تخفق . عند درجة حرارة أعلى ، التكتل يتم أسرع ، وسوف يحدث أيضاً في البلازما ، ويمكن أن يصبح أكثر سرعة ليسمح بهواء ضمني كافٍ إذا كان الدهن سائلاً بالكامل ، ويكون الخفق مستحيلاً .

يكون الالتحام الجزئي بطيء للغاية في القشدة المخفوقة ، لأن كريات الدهن تكون صغيرة للغاية وطبقاتها السطحية البروتينية تقدم ثباتاً جيداً . إلا أن ، التجنيس عند ضغط منخفض (من 1 إلى 4 MPa) . من المفضل ، في مرحلتين (أي 2 و0.7 MPa عند درجة حرارة 35 مئوية) تؤدي إلى ظهور كتل مجنسة صغيرة حوالي 15 ميكرومتر ، ومثل هذه القشدة يمكن خفقها . وسيلة أخرى لتسريع عملية الخفق هي إضافة جزء صغير مناسب نشط السطح (عادة ما يسمى مادة مستحلبة Emulsifier) والتي تحل محل جزء من بروتين سطح الكريات . وهذا يسرع حساسية الكريات للالتحام الجزئي ويؤثر بصورة ملموسة على خواص عملية الخفق (انظر شكل

7.17) . تعتمد النتائج على نوع المادة المنشطة للسطح بطريقة ليست معروفة تماماً. أوليات الجلسرول الأحادية Glycerol mono oleate والتووين Tween 20 من بين الأنواع المستخدمة .

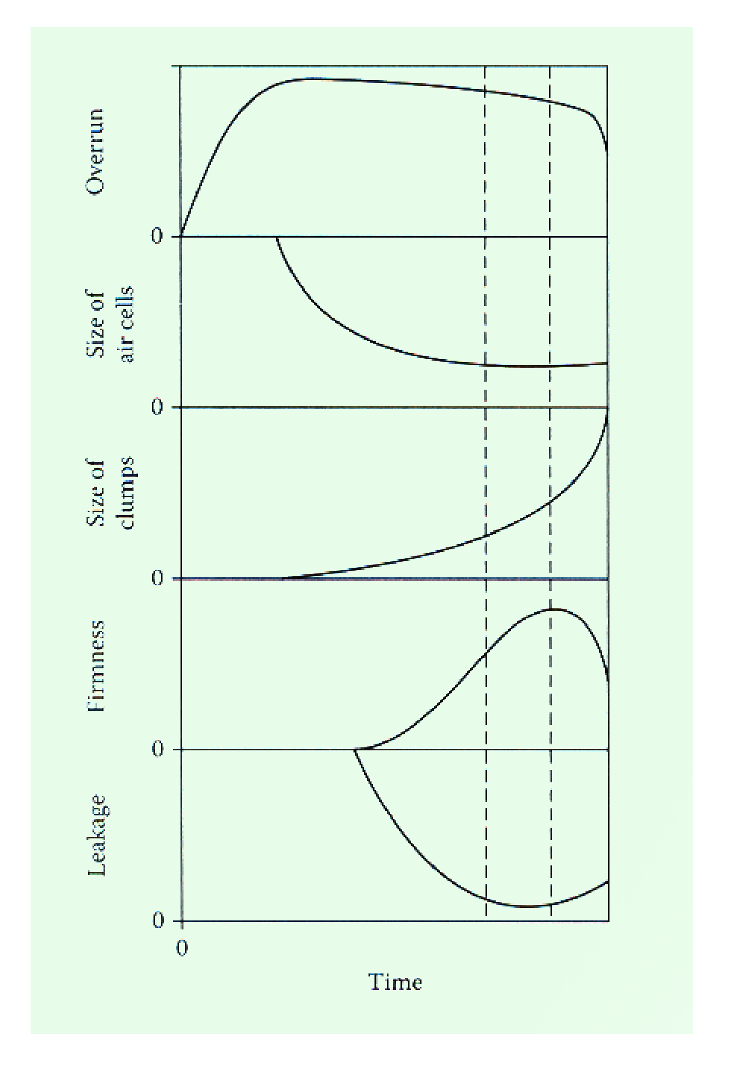
2.3.2.17 الثبات *Stability*

إن القشدة المخفوقة ليست ثابتة بالكامل ولكن تتعرض لتغيرات فيزيائية . عدم الثبات الأساسي ينشأ من :

1. انسياب البلازما من المنتج Leakage of plasma from the product : إذا كان تركيب القشدة المخفوقة كما وصف سابقاً ، الانسياب يمكن أن يكون غير معنوي .

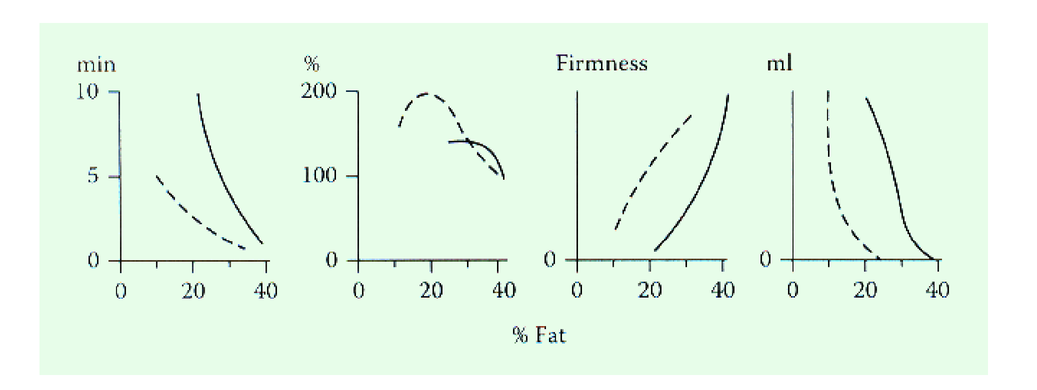
شكل 6.17 وشكل 7.17 يوضحان تأثير بعض المتغيرات . خروج سائل يمكن أيضاً أن يمنع بإضافة عامل مسبب للثخانة (السماكة) ، ولكن بتركيزات عالية .

2. نضج اوستوالد Ostwald ripening (انظر تحت فصل 4.1.1.3) . ويحدث هذا في كل الرغاوي . لأن الفقاعات تختلف في الحجم وذوبانية الغاز في الماء تكون عالية نوعاً . في القشدة المخفوقة التقليدية ، يكون المعدل منخفضاً . وذلك بسبب تغطية فقاعات الهواء بواسطة طبقة من كريات الدهن والكتل الدهنية . وهذا يتضمن أن الفقاعات يمكن أن تنكمش . في القشدة المخفوقة ذات محتوى دهني قليل والريع العالي High overrun ، نضج استوالد يمكن تقديره .
3. انهيار الرغاوي Collapse of the foam : إذا كان نضج استوالد ضخماً ويحدث التحام فقاعات الهواء أيضاً ، يقل حجم المنتج بالتخزين . في معظم القشدة المخفوقة هذه عملية بطيئة .
4. الارتخاء Sagging : حتى إذا لم يحدث انهيار ، القشدة المخفوقة يمكن أن يحدث لها ارتخاء تحت ضغط وزنها ، إذا كان المنتج غير متماسك بطريقة كافية . فإن ضغط قدره 300 Pa يكفي لتأمين "استعادة الشكل Shape retention" في أغلب الحالات .



شكل 6.17 العمليات التي تحدث أثناء خفق القشدة . مقياس الملائمة يمكن أن يكون الوقت اللازم لخفض الوزن داخل المنتج ، الانسياب يعني كمية السائل المنساب من حجم معين في وقت محدد بين الخطوط المقطعة يكون المنتج مقبولاً . نتائج تقريبية عن مصادر مختلفة

Figure 17.6 Processes occurring during whipping of cream. The parameter of firmness may be the time needed to lower a weight into the product; leakage means the amount of liquid drained from a certain volume in a certain time. Between the broken lines the product is acceptable. Approximate results after various sources



شكل 7.17 خواص القشدة المخفوقة . وقت الخفق (بالدقيقة) ، الزيادة في الحجم نتيجة للخفق (%) ، القوام ، السائل المنساب (بالمليلتر) كدالة عن المحتوى الدهني ، للقشدة المخفوقة المعتادة (-) ولمنتج أضيف إليه مادة نشطة السطح (---) . أمثلة تقريبية

Figure 17.7 Properties of whipping cream. Whipping time (min), overrun (%), firmness (approximately a yield stress), and leakage of liquid (ml) as a function of the fat content, for conventional whipping cream (–) and for a product with emulsifier added (---). Approximate examples. (After H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

تكون القشـــدة المخفوقة التقليدية ثابتة لســـاعات قليلة ، ولكن هذا ليس صـــحيحاً لكل أنواع القشـــدة المحورة ، خاصـــة القشـــدة المخفوقة التي تخرج من صـــفائح الايروســـول aerosol can تكون غير ثـابتـة . أثنـاء العمليـة الســـريعـة لتكون الفقـاعـة وامتـدادهـا ، ليس هناك إمكانية لكريات الدهن أن تصـبح متصـــلة بالفقاعات الهوائية أو كتل الدهن . ولكي نعطي للمنتج ثباتية ، يجب أن تكون الفقاعات مجمعة في نظام محكم . والذي يحتاج إلى كســـر حجمي للفقاعة عند حوالي 0.8 على الأقل (الربع ، وهو تقدير حسابي لزيادة حجم القشدة ، تكون قيمته 400%) . بالإضـــافة إلى ذلك ، N_2O يكون عالي الذوبان في الماء ، مســـبباً نضـــج اوســـتوالد Ostwald ripening . إن هذه النتائج في تدهور شديد وفي خلال 30 دقيقة لا يبقى أثر للرغاوي .

3.17 المثلوج اللبني (آيس كريم) *Ice Cream*

هناك أنواع عديدة من الثلج الصالح للأكل Edible ice ، أساسياً مخلوط من الماء والسكر ومواد نكهة ومكونات أخرى ، والتي تكون مجمدة جزئياً ومضروبة لتكون رغاوي صلبة . يكون اللبن أو القشدة في أغلب الأنواع أحد المكونات الهامة . بعض أمثلة من المكونات تم توضيحها في الجدول 1.17 في هذه الأيام ، جزء من المواد الصلبة اللبنية غير الدهنية عادة ما تستبدل بواسطة مكونات شرش اللبن لكي نخفض أثمان المكونات . في بعض البلاد يستبدل غالباً دهن اللبن بدهن نباتي ، مثل زيت النخيل المهدرج جزئياً . الآيس كريم اللبن هو المنتج المناقش هنا .

بالإضافة إلى ذلك ، يكون آيس كريم اللبن العادي المتصلب مميزاً . يؤكل الثلج الناعم وهو طازج . ويصنع في الحال ، تكون درجة حرارتها عادة من -3 إلى -5 درجة مئوية ، وعلى ذلك ، يكون ما يزال يحتوي على كمية كبيرة من الماء غير المجمد (انظر فصل 2.11) ، عادة ، محتواها الدهني والريع overrum يكونان منخفضين نسبياً . يعبأ الآيس كريم المتصلب ، في أجزاء صغيرة ويقدم في بعض الأحيان مغلفاً بطبقة شيكولاتة خارجية ، تكون درجة حرارتها أكثر انخفاضاً (-25 درجة مئوية) . المحلول المتبقي الموجود في الحالة الزجاجية ، والتي لها فترة صلاحية تبلغ عدة أشهر . الآيس كريم العادي له درجة حرارة منخفضة عن الأيس كريم الناعم Soft ice cream (-10 إلى -15 درجة مئوية) ، ولكن ليس بارداً بقدر ما يكون صلباً بالكامل. ويخزن لمدة أسابيع قليلة عندما يعبأ في علب ، والتي يمكن أخذ أجزاء منها .

نحتاج إلى لبن أو قشدة لهما نكهة خالية من العيوب ، خاصة فيما يخص التزنخ والأكسدة الذاتية . يمكن أن يحدث العيب الأخير في قشدة الثلج المتصلة لأنها تخزن لمدد طويلة ،

ونشاطها المائي يكون منخفضاً ، ويحتوي كمية كبيرة من الأكسجين ، ولذلك فالتلوث بالنحاس يجب تجنبه بشدة .

جدول 1.17 المكونات التقريبية (النسبة بالوزن) لبعض أنواع من القشدة المثلجة

Table 17.1 Approximate Composition (Percentage by Weight) of Some Types of Ice Cream

المكونات Constituent	قشدة الثلج اللبنية Dairy Ice Cream	اللبن المثلج Ice Milk	الشيربت Sherbet	مثلوج لوللي Ice Lolly
دهن اللبن Milk Fat	10	4	2	0
المواد الصلبة غير الدهنية اللبنية Nonfat milk solids	11	12	4	0
السكر المضاف Added sugar	14	13	22	22
إضافات Additives	0.4	0.6	0.4	0.2
% الريع[a] % Overrun	100	85	50	0
الطاقة عند الأكل Edible energy KJ/100 ml	390	300	340	370

a نسبة الريع تعني الزيادة النسبية في الحجم بواسطة ضرب الهواء فيها .

a. % overrun means the relative increase in volume by air beaten in.

المثلوج اللبني الناعم Soft ice cream عادة ما يسبب مشاكل ميكروبيولوجية ، ولذلك فإنه يحفظ مثلجاً ، ومحتواه السكري يكون عالياً إلى حد ما ويعمل كمادة حافظة . لا تستطيع الكائنات الممرضة النمو ، ولكنها لا تقتل . يمكن أن تنمو البكتيريا إذا حرارة المكان مرتفعة أو لفترة مؤقتة ، كما يحدث بسهولة في أماكن البيع . يمكن أن يحدث نمو زائد في آلات العملية التصنيعية غير النظيفة وعند الخلط ، إذا خزنت لمدة طويلة . وعلى ذلك ، إجراءات صحية مشددة يجب إتباعها . أعداد كبيرة من البكتيريا المعوية مثل إشيريشيا كولاي *E. coli* وأنواع سالمونيلا Salmonella spp. غالباً ما توجد .

1.3.17 التصنيع *Manufacture*

شكل 8.17 يعطي مخططاً فيه تكون القشدة المادة البادئة . كما يتضح في جدول 1.17، لبن إضافي أو شرش صلب عادة ما تضاف (بطريقة أخرى ، محتوى الجوامد الصلبة اللبنية غير الدهنية سوف تكون حوالي 7%) . عادة ما نبدأ من مسحوق اللبن الفرز أو الشرش منزوع المعادن Demineralized whey . وعلى ذلك ، تكون إعادة التكوين مطلوبة في هذه الحالة .

تحتاج المراحل الأولى للتصنيع تفصيلاً قليلاً . يكون تكوين الخليط بسيطاً نسبياً . تكون الإضافات مواد مساعدة على الاستحلاب ، والثبات (عوامل تزيد الثخانة Thickening agent وهي عادة مخلوط من السكريات العديدة) والمواد المنكهة ومكسبة اللون . دور الإضافات تم مناقشتها في تحت فصل 3.3.17 . ومن الواضح ، المكونات مثل لب الفاكهة والمكسرات المطحونة يجب أن تضاف بعد التجنيس .

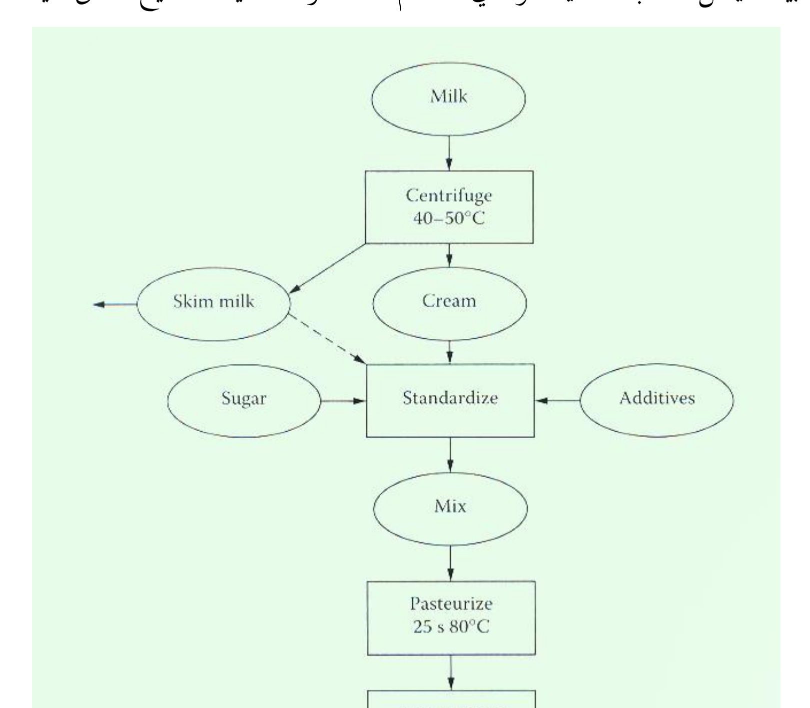
تعمل بسترة المخلوط على قتل الكائنات الدقيقة المسببة للأمراض والفساد . الإضافات التي أضيفت بعد التجنيس يجب أن تبستر منفصلة . الهدف الثاني الهام هو تثبيط الليبيز لأنه ما يزال قليل النشاط حتى عند درجة حرارة منخفضة جداً . الليبيز البكتيري يجب أن يمنع وجوده . وأخيراً ، تكون معاملة حرارية شديدة للمخلوط مرغوباً فيها (خاصة لتصلب مثلوج اللبن) لتقلل من حساسيته للأكسدة الذاتية ، يمكن أن تكون النكهة المطبوخة غير مرغوب فيها ، نتيجة لإضافة المواد المسببة للنكهة .

التجنيس Homogenization يقصد به خاصة إعطاء المثلوج اللبني ملمساً أملس ودقيق (انظر تحت فصل 2.3.17) . التكون الزائد لكتل مجنسة يجب أن يتم تجنبه لأنه يسبب اللزوجة العالية للمخلوط والملمس الأملس المطلوب . وبالتالي ، يجب أن يتكيف الضغط أثناء التجنيس مع المحتوى الدهني ، وشدة البسترة وتركيب المخلوط (انظر فصل 7.9) .

التبريد والنضج Cooling and ripening : (الحفاظ بارداً لبعض الوقت) يكون مرغوباً لسببين . الدهن في أغلب كريات الدهن يجب أن يكون متبلوراً قبل أن يدخل مخلوط المثلوج اللبن المبرد ، من المهم أن نلاحظ أن تبريداً ملموساً يمكن أن يحدث لأن كريات الدهن تكون صغيرة

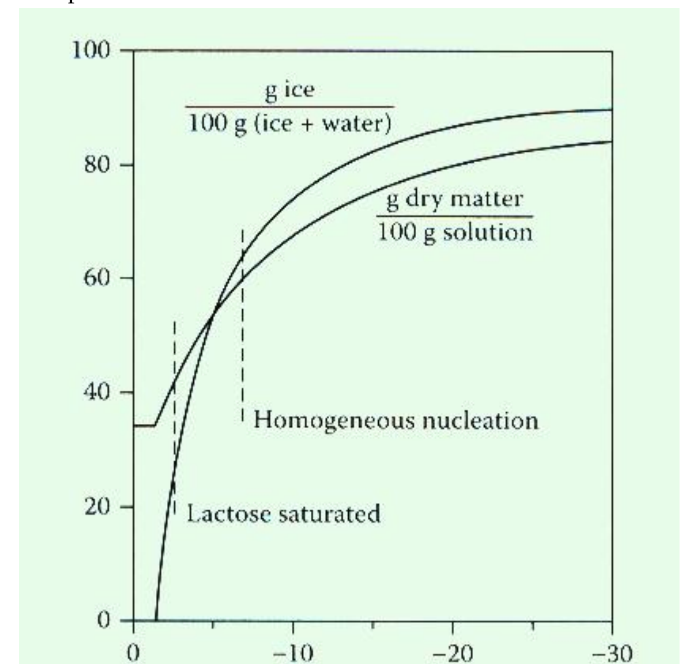
جداً (تحت فصـــل 2.5.3.2) . مواد مثبتة معينة مثل الجيلاتين gelatin وصـــمغ فوق الجراد Locust bean gum يحتاج وقتاً كافياً لكي ينتفخ بعد انتشـاره . تحتاج بعض المواد المسـاعدة على عمل المسـتحلب المضـافة وقتاً معتبراً عند درجة حرارة منخفضـة لكي تحل محل البروتين من كريات الدهن (تحت فصل 2.3.17) .

التجميد Freezing يقتضـــي تبريداً ســـريعاً للخليط إلى درجات قليلة تحت الصـــفر في هـذه الحـالـة ، يتكون الثلج بينمـا يضـــرب الهواء بـداخلـه . وهـذا يجب أن يجري متلازماً : بعـد تجمـد الحجم الكلي للمـاء ، أي عمليـة ضـــرب في الهواء تكون غير ممكنـة ، ويؤدي التجميد بعد ضـــرب الهواء إلى خص غير كافٍ لكريات الدهن (انظر تحت الفصـــل القـادم) ويمكن أن يحطم تركيب الرغاوي . وبالإضـــافة إلى ذلك ، الضـــرب الشـــديد يسـاعد التبريد الســـريع ، بســـبب تكون بلورات ثلج صـــغيرة . شـــكـل 9.17 يعطي كميـة المـاء المجمـد التقـديريـة كـدالـة لـدرجـة الحرارة ، يســـبب تركيـب مختلف منحنى مختلفاً إلى حـد مـا . عـادة ، يحدث التجمد في الســـطح المخدوش للمبادل الحراري وخاصـــة الاســـطوانة الأفقية التي تبرد خارجياً بواســطة التبخير المباشــر (-20 إلى -30 درجة مئوية) والمزودة بمقلب دوار (150 إلى 200 لفة لكل دقيقة) يخدش الجدار . تتكون طبقة من الثلج على الجدار . تتكســـر أجزاء من الثلج من الطبقة بواسطة المكشطة وتتوزع خلال الكتلة . تترك طبقة من الثلج حالي 50 ميكرومتر في السمك في التصميم الأبسط ، تكون الاسطوانة ممتلئة جزئياً والمقلب يضرب خلايا الهواء داخل الخليط . في الآلة المستمرة العمل ، يدخل الهواء والخليط المعدة بأحجام محددة من قبل (تسمح للريع بأن يضبط بالضبط) بينما يقلل المقلب خلايا الهواء في الحجم . تستغرق عملية التصنيع دقائق قليلة .



شكل 8.17 مثال لتصنيع المثلوج اللبني

Figure 17.8 Example of the manufacture of ice cream



شكل 9.17 تجميد مخلوط المنتوج اللبني . كمية تقريبية للماء المجمد وتركيز المحلول المتبقي ، على افتراض أن الثلج يكون في حالة تعادل مع السائل وأن مكونات أخرى لا تتبلور . درجات الحرارة المقدرة لتشبع اللاكتوز ولتجنيس أنويتها تم توضيحها أيضاً

Figure 17.9 Freezing of ice cream mix. Approximate quantity of frozen water and concentration of the remaining solution, assuming that the ice is in equilibrium with the liquid and that no other constituents crystallize. The estimated temperatures for saturation of lactose and for its homogeneous nucleation are also indicated

المخلوط يترك المبرد عند من -3.5 إلى -7 درجة مئوية . لابد أن يستخدم مبادلاً حرارياً ثانياً ، وفيه يبرد المخلوط أكثر ، بينما يقلب إلى حوالي -10 درجة مئوية بدون ضرب زائد في الهواء . إن تبريداً أعمق لا يمكن الوصول إليه في المبادل من النوع الانسيابي Flow- type exchanger لأن المنتج يصبح صلباً للغاية .

تكون عملية تغليف المثلوج اللبني عادة معقدة ، خاصـــة إذا كان المخلوط أو الأشـــكال الاســـتثنائية مطلوبة . في الحالة الأخيرة تكون خطوة التعبئة متعلقة ببداية التصــــلب لكي تعطي الأجزاء ذات الشكل المطلوب المحتجزة .

تعمل عملية التصـلب على الضـبط السـريع لدرجة حرارة المثلوج اللبني لمسـتوى اسـتعادة الشـــكل ويعطيه وقت صـــلاحية كافٍ بالنســـبة للتفاعلات الكيميائية والإنزيمية وكذلك لتركيبه الفيزيائي . تعبئة المثلوج اللبني يمكن أن تمر خلال ما يســمى نفق التصـلب Hardening tunnel وفيه هواء بارد جداً (-40 درجة مئوية) ينفخ فوق العبوات الصغيرة لمدة 20 دقيقة . بطريقة مماثلة ، لتغليف المثلوج اللبني يمكن أن يمر خلال محلول ملحي ذي حرارة منخفضة .

2.3.17 التركيب الفيزيائي : التكوين والثبات

Physical Structure :Formation and Stability

المكونات الكيميائية لمخلوط المثلوج اللبني مع الهواء على القمة يكون مســـاوياً بالضـــبط لتلك المماثلة للمثلوج اللبني . كلها واحدة ، الفرق في المظهر ، التماســـك ، والنكهة يكون كبيراً، وهذا سـببه الاختلاف في التركيب الفيزيائي . كما هو موضـح في شـكل 10.17 . عندما يتجمد نصـــف الماء (حوالي -5 درجة مئوية) فإن عناصـــر التركيب التالي يمكن أن نتعرف عليها (d= القطر ، φ= الكسر الحجمي) :

بلورات الثلج : d = 7 – 170 ميكرومتر ، في المتوسط حوالي 50 ميكرومتر ، $\varphi = 0.3$

بلورات اللاكتوز : الطول = 20 ميكرومتر ، $\varphi = 0.005$ ، ليست دائماً موجودة .

خلايا الهواء : d = 60 – 150 ميكرومتر ، $\varphi = 0.5$

سمك رقائق الفقاعات : 10-20 ميكرومتر

كريات الدهن : d < 2 ميكرومتر ، $\varphi = 60.0$ (شاملة الكريات في الكتل)

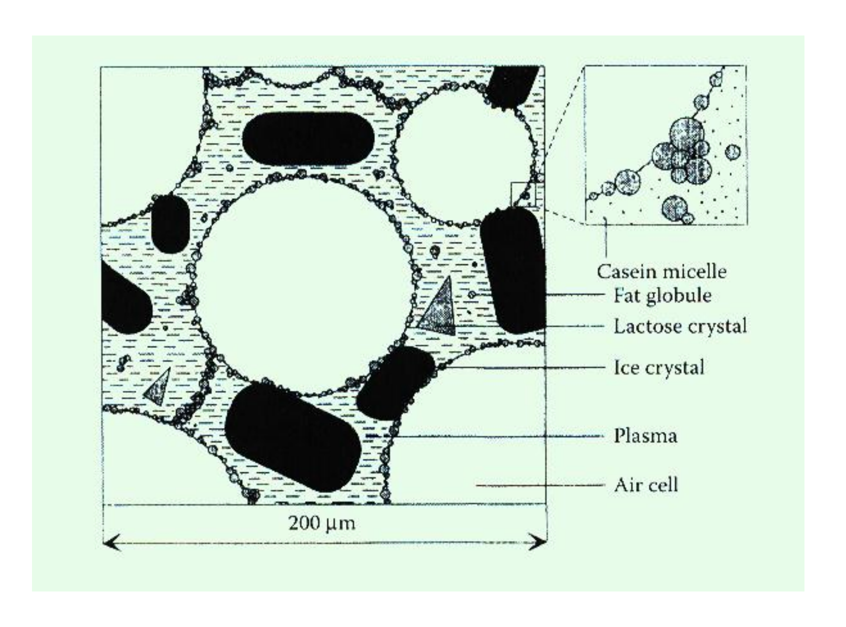
كتل كريات الدهن : حتى 10 ميكرومتر في الحجم

تعتمد حجم بلورات الثلج على شـدة التقليب وعلى معدل التبريد أثناء التجميد ، كلما كان التجميد سـريعاً ، كلما كانت البلورات أصـغر . يؤدي التصـلب إلى زيادة حجم بلورة الثلج ، بعامل قدره 2 تقريباً . بعد التجميد مباشـرة ، لا توجد بلورات لاكتوز . ولكي نتأكد ، درجة الحرارة تكون تحت تشبع اللاكتوز . كما هو موضح في شكل 9.17 ، ولكن يظل فوق تكون أنوية البلورة المتجانسة . بعد تبريد عميق فقط يمكن أن تتكون بلورة اللاكتوز .

التلخيص السـابق ذكره فيما يخص التركيب ، لا يكمل الصـورة بعد . من الناحية المجهرية يمكن ملاحظة كثير من خلايا الهواء في كونها مشـوهة بعض الشـيء بواسـطة بلورات الثلج . وهذا ليس مسـتغرباً عندما نعتبر أن النظام يكون مغلقاً بالكامل نسـبياً ، أي أن الكسـر الحجمي المجمع لعناصـر التركيب يكون حوالي 0.8 . بالإضـافة إلى ذلك ، تكون خلايا الهواء مغطاة كلياً بكريات الدهن وكتله . كريات الدهن المكتلة ، مع خلايا الهواء التي تتصـل بها ، مكونة شـبكة مسـتمرة خلال السائل (انظر شكل 10.17) . وهذا له تأثيراته الهامة التالية :

1. خلايا الهواء تصبح ثابتة بواسطة كريات الدهن (انظر خلفه) .
2. بعد انصـهار بلورات الثلج (في الفم مثلاً) يبقى للكتلة بعض الثبات ، وهذا تم توضـيحه في شـكل 11.17 ومدى تكتل الدهن يعبر عنه كمعامل خض الدهن Churned- fat index (الذي يمكن أن يحدد بفحص أي نسبة الدهن التي يحدث فيها تقشيد بسرعة بعد الانصـهار الكلي لبلورات الثلج) .
3. تكتل كريات الدهن (التحام جزئي) يغير القوام أي أن المثلوج اللبني يظهر أقل لمعاناً وبذلك يبدو أكثر جذباً لأغلب الناس . تسـمى هذه الخاصـية الجفاف Dryness ، ويرتبط بشـكل جيد مع معامل خض الدهن الذي تم الحصول عليه عملياً .
4. المثلوج اللبني الذي له جفاف غير كافٍ يلتصـق بآلات التصـنيع ، والتي يمكن أن تتداخل مع عملية التغليف ، ... إلخ .

تتكون الشـبكة المذكورة لكريات الدهن المتكتلة أثناء التجميد (انظر شـكل 1.2.17) . بالرغم من أن فقاعات الهواء تصبح مغطاة بالكامل بكريات الدهن ،



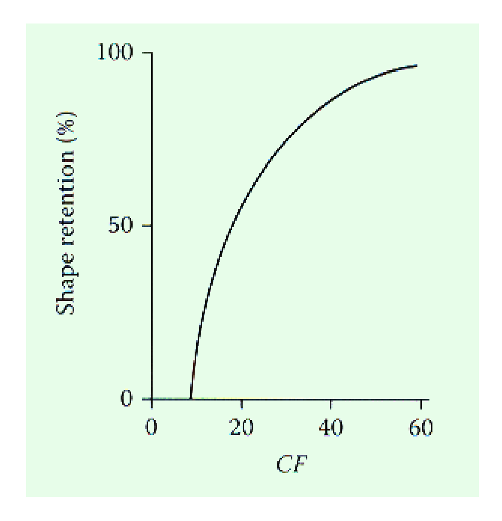
شكل 10.17 تمثيل تخطيطي لتركيب المثلوج اللبني عند حوالي -5 درجات مئوية

Figure 17.10 Schematic presentation of the structure of ice cream at about - 5°C

المخض العائم Flotation churning لا يحدث ، لأن كمية صغيرة للغاية من الدهن السائل تكون متوافرة لتنتشر فوق فقاعات الهواء . في كل الاحتمالات القوية ، يسود التكتل بسبب القوى الميكانيكية ، أي أن كريات الدهن تدمع معاً أثناء عملية الضرب بسبب وجود بلورات الثلج وتحطم بسببها . كلما انخفضت درجة الحرارة ، كلما زاد الثلج والتكتل يكون أسرع .

إذا استخدمت القشدة غير المجنسة ، سوف تكون جميع كريات الدهن معاً كافية لتغطية خلايا الهواء ذات القطر 100 ميكرومتر ($\varphi = 0.5$) . ولكن كريات دهن اللبن الطبيعي تتكتل بسرعة . لا تكون التجمعات المتكونة كافية على الإحاطة الكاملة بخلايا الهواء هذه . وهذا يقتضي أن الخلايا سوف تكون غير ثابتة أثناء وبعد التجمد (الالتحام ونضج أوستوالد يمكن أن يحدثا) وتتكون فقاعات هواء كبيرة ، مسببة ملمساً خشناً . تصبح كريات الدهن أكثر صغراً في الحجم

بواسطة تجنيس القشدة . وعلى ذلك فإنها تستطيع أن تغطي مساحة خلايا هواء كبيرة حتى بعد التكتل (إلا إذا تكونت كتل مجنسة كثيرة) . سوف تتكتل كريات الدهن المجنسة بصعوبة ، وعلى ذلك فإن الشبكة المرغوبة من كريات الدهن المتكتلة لا تتكون . ولكن هذه الكريات تتكتل بصورة متزايدة إذا أُضيف جزئيات صغيرة لمادة نشطة السطح تؤدي إلى تكون مستحلب (emulsifier) (شكل 12.17) . يرجع هذا إلى إزاحة المادة المكونة للمستحلب لجزء من البروتين من الطبقات السطحية ، والتي تقلل ثباتية كريات الدهن للالتحام الجزئي ، تصبح الكريات أيضاً أكثر جاهزية للتعلق بفقاعات الهواء .



شكل 11.17 تأثير لمدى تكتل كريات الدهن ، معبراً عنه كمعامل خض الدهن (CF) ، على قدرة الاحتفاظ بشكل المنتوج الثلجي قدرة الاحتفاظ هي ارتفاع مكعب المنتوج الثلجي بعد حفظه لبعض الوقت عند درجة حرارة الغرفة . معبراً عنها كنسبة إلى الارتفاع الابتدائي

Figure 17.11 The influence of the extent of clumping of the fat globules, expressed as churned-fat index (*CF*), on the shape retention of ice cream. The retention is the height of a cube of ice cream after keeping it for some time at room temperature, expressed as a percentage of its initial height. (After H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

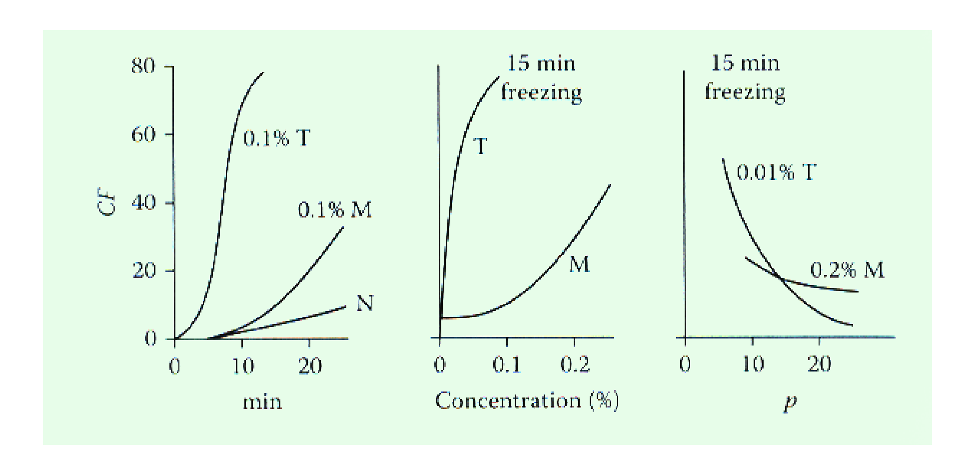
مثالياً ، ســوف يبقى تركيب المثلوج اللبني حديث الصـنع غير متغير ، ولكن هذه ليسـت الحالة . تزداد فقاعات الهواء في الثلج الناعم بسـرعة في الحجم ، ولنقل من 25 إلى 50 ميكرومتر في نصـف سـاعة . وبالتالي ، الثلج الناعم له مدة صـلاحية قصـيرة . من المحتمل أن كل من نضج اوستوالد والالتحام يؤديا إلى الخشونة . تكون العملية بطيئة عند معامل مخض دهن أعلى . يجب أن يكون التفسـير أن فقاعات الهواء التي تغطي جيداً بكريات الدهن تكون أكثر ثباتاً .

الخشونة The Coarsening تسرع أثناء المراحل الأولى للتصلب ، عندما تضغط بلورات الثلج النامي الفقاعات بالقرب من بعضها ، وبذلك تسبب الالتحام . تمكن هذه العملية أيضاً أن تؤدي إلى عمل قنوات channeling أي تأسـيس وصـلات هوائية بين فقاعات الهواء والهواء الخارجي . ويؤدي هذا إلى فقد الهواء وبالتالي إلى انكماش للمنتوج اللبني عندما تزداد درجة الحرارة . عند درجة حرارة منخفضة ثابتة ، تكون الخشـونة بطيئة ، ومن المحتمل أن يكون سـببها زيادة لزوجة الحالة السائلة . تحت حوالي -28 درجة مئوية يتحول السائل إلى الحالة الزجاجية (انظر فصـل 2.11) ، وتقديرياً لا تحدث تغيرات فيزيائية أبعد . ومع ذلك ، يمكن أن تحدث الأكسـدة الذاتية. ولو ببطء . يسرع تذبذب درجات الحرارة بقوة الخشونة والانكماش .

بلورة الثلج ، وإذا وجدت بلورات اللاكتوز تكون أيضاً عرضة لنضج اوستوالد ، ماعدا عندما تكون درجة الحرارة منخفضة ، عادة ما يؤدي إلى بلورات تكون كبيرة لدرجة كافية لاستقبالها في الفم .

3.3.17 دور المكونات المختلفة *Role of the Various Components*

للدهن أهمية خاصة في إحداث النكهة وتكون تركيب صلب أثناء عملية التجمد وبالتالي على التماسـك ، والمظهر ومقاومة الانصـهار . يؤدي محتوى عالٍ من الدهن إلى ملمس جاف محبب ، يؤدي محتوى دهني منخفض إلى ملمس ناعم ، متجانس غروي .



شكل 12.17 تأثير وقت التجمد (بالدقيقة) ، التركيز ، ونوع المادة المساعدة على عمل المستحلب وضغط التجنيس (الضغط بـ MPa) على تلبد كريات الدهن ، معبراً عنها بمعامل مخض الدهن (CF) M = سيترات الجليسرول الأحادية ، T = التووين 80 ، و N = لا يوجد مادة مستحلبة No emulsifier . أمثلة تقريبية

Figure 17.12 Influence of freezing time (min), concentration, and nature of the emulsifier and homogenizing pressure (*p*, in MPa) on the clumping of fat globules, expressed as churned-fat index (*CF*); M = glycerol monostearate; T = Tween 80; and N = no emulsifier. Approximate examples. (From H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

تسهم المواد الصلبة اللبنية غير الدهنية في إحداث النكهة . وهي أيضاً مسئولة عن جزء من انخفاض نقطة التجمد وزيادة اللزوجة . ويعمل البروتين على ثبات رقائق الرغاوي أثناء دمج الهواء ، وهو ضروري لتكوين أغشية كريات الدهن أثناء عملية التجنيس . يمكن للاكتوز أن يتبلور عند درجة حرارة منخفضة . يجب أن تكون البلورات المتكونة صغيرة لكي تمنع تكون الرملانية (يشبه الرمل) . إلى هذه النهاية ، يجب أن يكون التبريد سريعاً أثناء التجميد ، وبعد ذلك يجب تجنب تذبذب درجة الحرارة .

يكون عادة السكر ، السكروز ضرورياً للطعم ولخفض نقطة التجمد . يمكن أن يسبب سكر قليل تكوناً كثيراً للثلج ، السكر الكثير عادة ما يصنع منتوجاً لبنياً زائد الحلاوة . ولكي

نتغلب على ذلك ، يمكن أن يستبدل جزء من السكروز بعصير جلوكوز والذي يكون أقل حلاوة ويؤدي إلى خفض كبير في نقطة التجمد لكل كيلوجرام سكر . يسبب السكر أيضاً اللزوجة العالية ، خاصة عندما يتجمد أغلب الماء . إلا أن الدور الأكثر أهمية للسكر هو أنه يسبب تجمد ماء أقل مما يجب ونتيجة لذلك يكون قوام المثلوج اللبني أنعم واحساسه في الفم أقل برودة .

دور المثبتات Stabilizer أو المواد المسببة للسماكة (الثخانة) ليست في غاية الوضوح . من بين هذه المواد الجيلاتين ، والكاراجينات ، والبكتين وصمغ فول الجراد ، والزنثان ، والكربوكسي ميثيل سيلليلوز ، ومخالطيها . وطبعاً ، تؤثر هذه المواد على القوام وبالتالي أيضاً على نقل الحرارة أثناء التجميد . إذا حدث تكتل قليل لكريات الدهن كما يحدث في المثلوج منخفض الدهن ، الصلابة المطلوبة ومنع نضج اوستوالد الزائد لفقاعات الهواء يجب أن ينجز بواسطة عوامل الثخانة . إلا أن هذه العوامل يمكن أن يضاد نضج اوستوالد للثلج وبلورات اللاكتوز ولمنع تبلور اللاكتوز . تسبب كثير من العوامل الثخانة عند تركيز عالٍ (كما هو الحال في المثلوج اللبني عند درجة حرارة منخفضة) . في الحقيقة ، خفض معدل البلورة وبالتالي إبطاء نضج اوستوالد ، ولكن من غير المحتمل أنها تثبط عملية تكون البلورة . لا تلعب المواد المساعدة على عمل المستحلب دوراً معنوياً في تكون الرغوة . وتستخدم لتنبيه تكتل كريات الدهن ولكي تصبح متصلة بفقاعات الهواء . وتشمل هذه صفار البيض ، الجليسريدات الأحادية ، التويينات Tweens ، والأسترات من حامض السيتريك والجليسريدات الأحادية .

تكون العوامل المسببة للنكهة بديهية . تضاف في بعض الأوقات مضادات أكسدة طبيعياً ، تكون بلورات الثلج الأساس في عمل القوام وللتبريد في الفم . بالإضافة إلى ذلك ، تسبب درجة الحرارة المنخفضة في تخفيض الحلاوة . لا يجب أن تكون البلورات كبيرة ومن ثم ، يجب أن يكون التجميد سريعاً . يجب ألا تتذبذب درجة حرارة التخزين .

تلعب خلايا الهواء دوراً ثلاثياً . فهي تجعل المثلوج اللبني خفيفاً ، بمعنى آخر ، يجب أن تكون غنية . وتجعل القوام طرياً وبالتالي تجعله قابلاً للتشوه في الفم . وتلطف البرودة بخفض معدل

نقل الحرارة ، وإلا أصـــبح المثلوج اللبني أكثر برودة في الفم . يمكن أن ترتبط كمية الهواء بـالحد الأقصـــى ، لأنه طبقاً للاحتياجات المثلى ، لا يمكن أن تكون كثافة المثلوج اللبني جاهزة التصـــنيع تحت قيمة معينة ، عادة 500 كيلوجرام/متر^3 .

مراجع مقترحة *Suggested Literature*

الجوانب الخاصة بقشدة القهوة والقشدة المخفوقة

H. Mulder and P. Walstra, The Milk Fat Globule, Pudoc, Wageningen, 1974

كتاب معملي عن المثلوج اللبني :

R.T. Marshall and W.S. Arbuckle, Ice Cream, 5th ed, Chapntan and Hall, New York, 1996.

معلومات أساسية أكثر عن المثلوج اللبني :

K.G. Berger, Chapter 9, in K. Larsson and S.E. Friberg, Eds., Food Emulsions, 3rd ed., Dekker, New York, 1997.

انظر أيضاً تقارير مؤتمر علمي

W. Buchheim, Ed., Ice Cream International
Dairy Federation, Brussels, 1998; H.D. Goff and B.W. Tharp, Eds., Ice Cream 11, International Dairy Federation, Brussels, 2004.

18 الزبـــدة *Butter*

1.18 الوصف *Description*

تصـنع الزبدة عادة من قشـدة بواسـطة الخض Churning والشـغل Working . وهي تحتوي على كمية جيدة من الدهن حوالي 80% ، والتي تكون متبلرة جزئياً . تتم عملية الخض عادة بسـهولة عند درجة حرارة بين 15 إلى 20 درجة مئوية . وعلى ذلك ، فالزبدة هي منتج ينشأ في مناطق لها طقس معتدل . بالإضـافة إلى خبرة عملية متراكمة . قدر جيد من العلم تم دمجه الآن في عمل الزبدة ، لتعزيز عمر الصلاحية ونوعية المنتج واقتصاديات التصنيع .

تحدث بعض المتغيرات . الزبدة من قشدة مزروعة (حامضة Soured) أو من قشدة حلوة Sweet وزبدة بملح مضاف أو بدونه . سابقاً كان السكر يضاف كمادة حافظة ، ولكن في هذه الأيام يضاف أساساً للنكهة ، بالإضافة إلى ذلك ، يحدث تحميض القشدة حتماً (نتيجة لفترة التقشيد بالجاذبية Gravity creaming) ، والآن تمارس عمداً . وهي تعزز الحفاظ على النوعية ، وتؤثر بصورة كبيرة على النكهة .

الاحتياجات الخاصة الأكثر أهمية للمنتج وتصنيعه هي كالتالي :

1. النكهة Flavor : النكهة غير المرغوبة للدهن يجب تجنبها ، خاصة تلك التي تحدث بالتحلل الدهني ، ولكن تلك التي تحدث أيضاً نتيجة للملوثات المتطايرة . تذوب الأخيرة بسرعة في الدهن ، أمثلة لنكهات غير مرغوب فيها يسببها الغذاء مثل البصل Allium والعلف المخزن . إذا سخنت القشدة بشدة . فإن الزبدة تكتسب نكهة مطبوخة . بالإضافة إلى ذلك يجب أن تبذل عناية خاصة للتحميض (انظر النص التالي) .
2. عمر الصلاحية Shelf life : يمكن أن يسبب الفساد بواسطة الكائنات الدقيقة عدة نكهات غير مرغوبة (متعفنة Putrid ، حامضية متطايرة Volatile acid ، متخمرة Yeasty ، نكهة

الجبن Cheesy ، ومزنخة Rancid) . في زبدة القشـدة المزروعة ، الفسـاد تسببه الأعفان والخمائر ، يكون الأس الهيدروجيني للرطوبة منخفضاً للغاية (4.6) للنمو البكتيري . يسبب تحلل الدهن نكهة صابونية- مزنخة :

لا يجب أن يتواجد إنزيم الليبيز المتكون بواسـطة البكتيريا المحبة للبرد في اللبن . بالإضـافة إلى ذلك ، يمكن أن تحدث الأكسـدة الذاتية للدهن ، خاصـة عند التخزين الطويل ، حتى عند درجة حرارة منخفضـة (-20 درجة مئوية) ، مؤدية إلى نكهة دهنية Fatty أو حتى نكهة السمك Fishy .

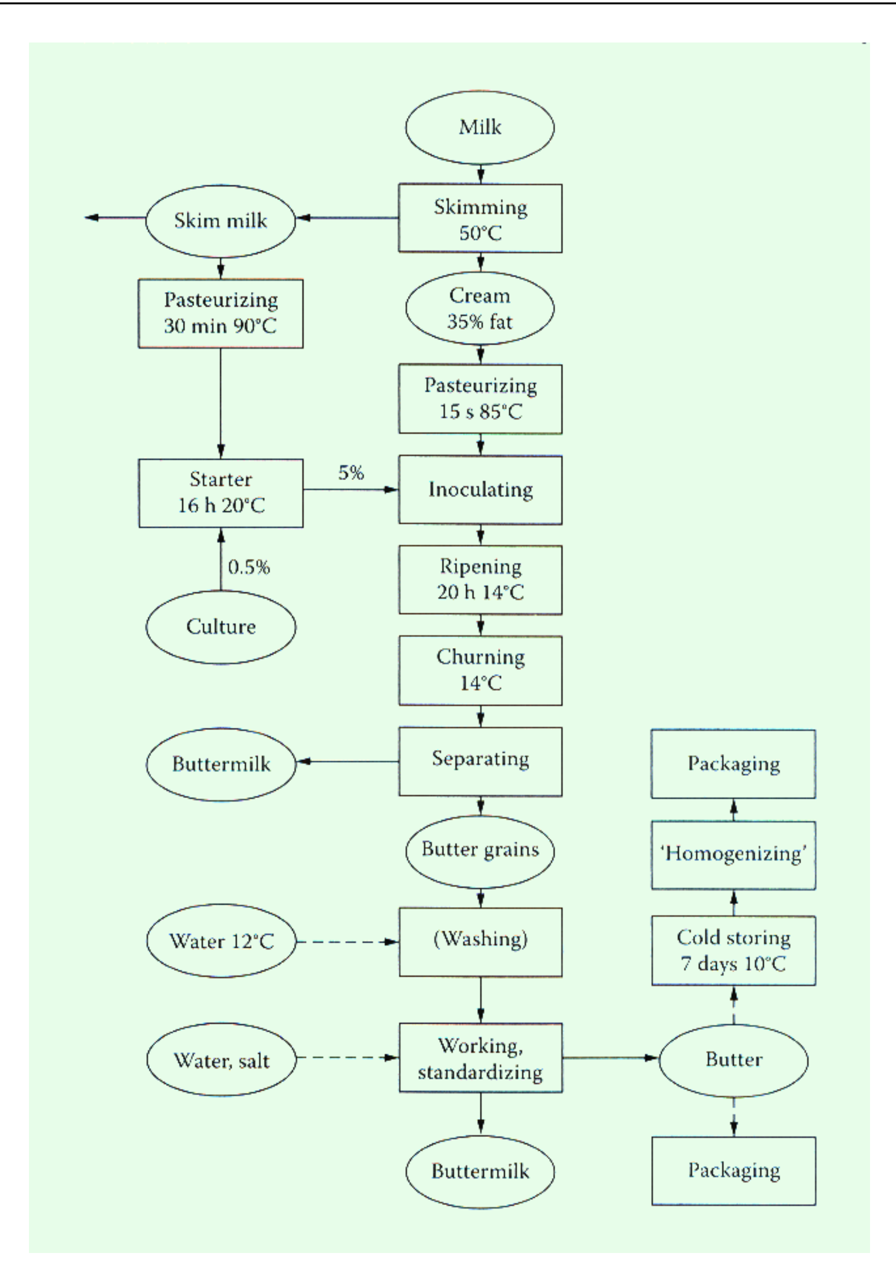
3. القوام Consistency : تكتسـب الزبـدة قوامهـا من بلورات الـدهن التي يمكن أن تتجمع داخل شـبكة . يجب أن تكون الزبدة متماسـكة بشـكل كافٍ لكي تسـتعيد شـكلها ، وإلا ، خرج الزيت منها (انفصـال الدهن السـائل) . في الجانب الآخر ، يجب أن تكون الزبدة طرية بصـورة كافية بحيث يمكن نشـرها بسـهولة على الخبز . يمكن أن يسبب القوام مشاكل ، لأن التماسك والانتشار يعتمد بقوة على تكوين الدهن وعلى درجة الحرارة .
4. اللون والتجانس Color and homogeneity : وهذان نادراً ما يسببان مشاكل .
5. الإنتاجية Yield : يفقد بعض الدهن في اللبن الفرز أو في لبن الزبدة إذا كان المحتوى المائي تحت الحد القانوني (أي 16%) ، فهذا أيضاً يعني فقداً للإنتاجية .
6. المنتجات الثانوية By- Products : يكون لبن الزبدة في بعض الأحيان مرغوباً ، ولكن غالباً لا يسـتحب نتيجة للطلب غير الكافي . يفضـل لبن الزبدة القشـدة الحامضـة كمشروب ، ولكن مدة الحفظ قصيرة نتيجة للتكون السريع لنكهة مؤكسدة (فصل 3.2.2) يمكن أن تدمج لبن زبدة القشـدة المحلى Sweet- cream butter- milk في منتجات معينة .

2.18 التصنيع *Manufacture*

1.2.18 خطوات التصنيع *Processing Scheme*

شكل 1.18 يعطي مثالاً تخطيطياً لصنع قشدة غير تقليدية من قشدة حامضة . شكل 2.18 يوضح شكلاً تخطيطياً للتغيرات الفيزيائية الحادثة . إزالة القشدة Skimming تتم لأسباب اقتصادية : (1) تقليل فقد الدهن (محتوى الدهن في لبن الزبدة هو 0.4% وفي اللبن الفرز هو 0.05% ، وهذا يعني أن إزالة كيلوجرام واحد من اللبن الفرز من السائل الذي تم مخضه سوف ينتج عنها إنتاجية إضافية لحوالي 4 جرام من الزبدة ، (2) تقليل حجم المعدة . (خاصة المخض) و(3) تخفيض حجم لبن القشدة ، وعلى ذلك ، محتوى دهني عالٍ للقشدة (أي 40%) له محاسنه ، وكذلك يبطل تكون النكهة غير المرغوبة (انظر تحت فصل 3.3.18) . إذا استخدمت آلة عمل الزبدة باستمرار فإن محتوى الدهن للقشدة يكون عادة أعلى (حتى 50%) البسترة Pasteurization تؤدي إلى قتل الكائنات الدقيقة ، تثبيط الإنزيمات ، تجهيز القشدة كمادة بادئة أفضل لبادئات البكتيريا وتجعل الزبد أكثر مقاومة للتدهور الأكسدي (انظر تحت فصل 3.3.18) . يؤدي تسخين شديد إلى ظهور نكهة مطبوخة أو زجاجية . في بعض الأحيان ، تبستر القشدة في مفاعل حيث توضع القشدة الساخنة تحت فراغ لتبرد ، ونتيجة لذلك تزال بعض المركبات المسببة للنكهة غير المرغوبة .

البادئ The starter (انظر فصل 5.13) يجب أن ينتج حامض لاكتيك والنكهة (داي أسيتيل) . بالإضافة إلى ذلك يجب ألا يكون البادئ مختزلاً قوياً لأن ذلك يسبب فقد للداي أسيتيل (بالاختزال إلى أسيتوسين acetocin و 2 ، 3- بيتانيديول 2,3- butanediol . تكوُّن النكهة تم مناقشته بشكل واسع في تحت فصل 2.2.1.13 إلى 4.2.1.13 .



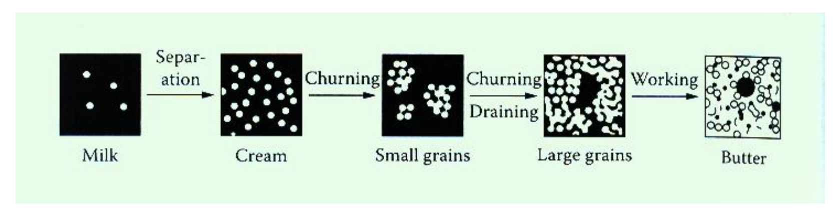
شكل 1.18 مثال لصنع الزبدة من القشدة الناضجة

Figure 18.1 Example of butter making from ripened cream

الاستفادة من مزرعة بادئ من سلالات مختلطة تحتوي على بكتيريا منتجة للحامض مثل لاكتوكوكس لاكتيس *Lactococcus lactis* sspp. *Lactis* and *cremoris* ، والبكتيريا المنتجة للنكهة *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *Cremoris* واللاكتوكوكس لاكتيس نوع لاكتيس بيوفار *Lactococcus lactis* biovar. *diacetylactis* . تكون النسبة بين أعداد البكتيريا المنتجة للحامض والنكهة حرجة . إذا وجدت بكتيريا منتجة للنكهة كثيرة ، سوف يزداد نموها على حساب البكتيريا الأخرى . فإذا أصبحت البكتيريا المنتجة للنكهة سائدة فإن بكتيريا حامض اللاكتيك سوف تتكون بكميات صغيرة للغاية ، ويبقى الأس الهيدروجيني مرتفعاً وينتج داي أسيتيل Diacetyl كافٍ . بالإضافة إلى ذلك ، اختيار دقيق للسلالات البكتيرية تكون ذات أهمية كبيرة بالنسبة للقدرة الاختزالية للبادئ ، وتكون الأسيتالديهيد بواسطة السلالات *Diacetylactis* ، ولأن كثيراً منها يسبب نكهة تشبه الزبادي . البادئ عادة ما يزرع من مركز مجمد . تكون نسبة الحقن عالية لأن البكتيريا يجب أن تنمو عند درجة حرارة تحت مثلى . الغرض من النضج Ripening هو تحميض القشدة وتبلور الدهن . بدون دهن صلب ، يكون المخض غير ممكن ، ودهن صلب قليل يسير مع فقد كبير للدهن في لبن الزبدة Buttermilk . تؤثر طريقة التبريد (تتابع درجة الحرارة) على قوام الزبدة (انظر تحت فصل 2.3.18) .

إن المخض The churning هو في أغلب الحالات ينجز بالضرب في الهواء (انظر تحت فصل 2.2.18) . ويمكن أن يتم في خضاض Churn ، عادة ما يتكون من وعاء كبير (اسطواني، على شكل مكعب مخروطي) مع ما يسمى الحاجبة Dashboards ، والذي يملأ جزئياً بالقشدة، والتي تدور rpm عدة دورات لكل دقيقة . يستغرق المخض 20 دقيقة . هناك أيضاً مخض يتم مع مُقلَبْ دائري (20 r.p.m) . تستخدم القاعدة الأخيرة أيضاً في الاستخدام الشائع والمستمر لآلة عمل الزبدة طبقاً لفريتز (انظر شكل 3.18) . هنا يدور المحرك Paddle بسرعة عالية (500 إلى

3000 لفة في الدقيقة) وتبقى القشـــدة فيه لأقل من دقيقة واحدة . ولكي ننجز ذلك يســـتخدم القشدة عالية الدهن (حوالي 50% دهن) . يمكن أن تمتلك هذه الآلات قدرات عالية .

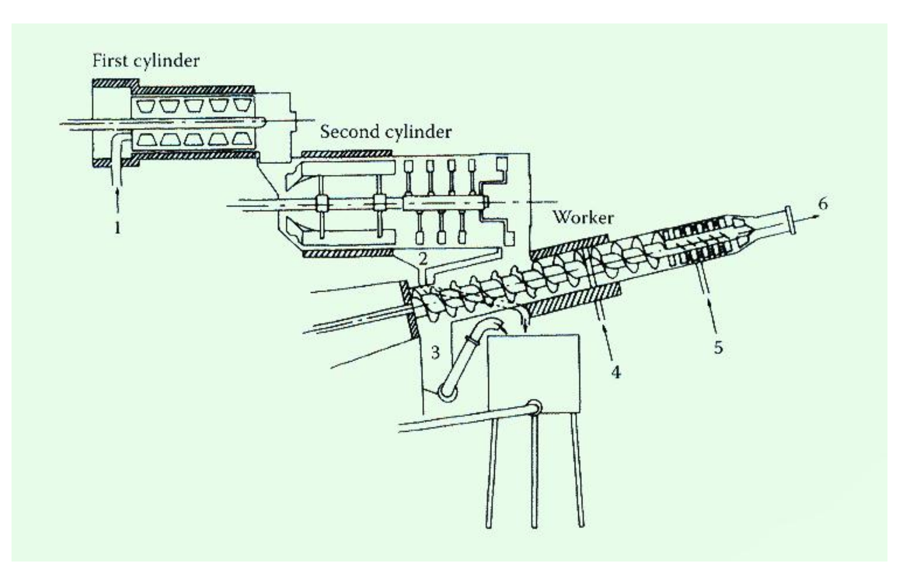


شكل 2.18 مراحل في تكوين الزبدة . مبسطة للغاية ، ليس لمقياس رسم معين . اللون الأسود يمثل الحالة السائلة ، بينما الأبيض يمثل الدهن

Figure 18.2 Stages in the formation of butter. Greatly simplified, not to scale. Black represents the aqueous phase; white represents fat. (After H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

يجب أن يبدأ الخض ســـريعاً وبالكامل (محتوى دهني منخفض في اللبن الزبدة) ، وحبيبات الزبدة المتكونة يجب أن يكون لها تماسك صحيح لكي تسمح بالشغل الفعال . يمكن أن يختلف حجم حبيبات الزبدة بمواصـــلة الخض لمدد زمنية مختلفة بعد تكون الحبيبات . حبيبات زبدة دقيقة جداً (مليمتر واحد) يصـعب فصـلها من اللبن الزبدة ، خاصـة في الأجهزة المســتمرة Continuous machines . إذا لم تكن حبيبات الزبدة كبيرة جداً ، يمكن إلى حد ما أن يتأثر تماسكها بالشغل، عن طريق درجة حرارة ماء- الغسيل . يتكون الغسيل من خلط حبيبات الزبدة مع الماء البارد ، بعد ذلك يصـرف الماء المكتسـب . ينقص هذا محتوى المادة الجافة للزبدة الرطبة . في الســابق ، كان الغســيل يؤدي لتحســين نوعية حفظ الزبدة ، ولكن في هذه الأيام يؤدي للتحكم في درجة الحرارة فقط ، إذا كانت الحاجة إلى ذلك .

يبذل الشــغل The working (1) لتحويل حبيبات الزبدة إلى كتلة متصـلة (2) لتوزيع الرطوبة في الزبدة (3) لتنظيم المحتوى المائي ، و(4) لدمج الملح ، حسـب الرغبة (انظر تحت فصـل 3.2.18) .



شكل 3.18 مثال لماكينة تصنيع زبدة مستمرة طبقاً لفريتز ، رسم مبسط للغاية . القشدة تدخل عند (1) وتكون قد تم مخضها بشدة في الاسطوانة الأولى (قوة ضرب المضرب ، مثلاً ، 2000 لفة في الدقيقة) منتجة حبيبات زبدة دقيقة جداً . في الاسطوانة الثانية (30 لفة في الدقيقة) ، الحبيبات تم مخضها إلى حبيبات أكبر وبذلك تسمح للبن الزبدة أن يصرف من خلال منخل sieve . (2) الحبيبات تسقط في المشغل ، حيث تعجن معاً لأول مرة بواسطة ترس دودي الشكل ، مع صرف بقايا اللبن الزبدة . (3) الكتلة تبرد بواسطة الماء (4) الزبدة تعصر الآن خلال سلسلة من صفائح مثقبة وتترك الماكينة كحبل (6) لضبط مكونات الزبدة ، ماء إضافي ، ومحلول ملحي ، وهلم جرا ، يمكن أن تدمج أثناء التشغيل (5) بعض الماكينات تزود بقسمين للمشغل على التوالي

Figure 18.3 Example of a continuous butter-making machine according to Fritz; highly simplified diagram. The cream enters at (1) and is very intensively churned in the first cylinder (turning speed of beater, for example, 2000 r.p.m.), yielding very fine butter grains. In the second cylinder (say, 30 r.p.m.), the grains are churned into larger ones, allowing the buttermilk to drain off via a sieve (2). The grains fall in the worker, where they first are kneaded together by the worm, with the residual buttermilk being drained off (3). The mass may be chilled with water (4). The butter is now squeezed through a series of perforated plates and leaves the machine as a strand (6). To adjust the butter composition, additional water, brine, and so forth, can be incorporated during working (5). Some machines are equipped with two worker sections in series

الشغل عبارة عن فرد للزبدة . وهذا يمكن تحقيقه بواسطة عصر الزبدة خلال اسطوانات متحركة Rollers ، بالسماح لها أن تسقط من ارتفاع أو بواسطة عصر الزبدة خلال صفائح مثقبة (في الأجهزة المستمرة) . أثناء الشغل ، يتم التحقق من المحتوى المائي بانتظام ، ويتم إضافة ماء إضافي لكي نصل إلى القيمة القياسية المقبولة .

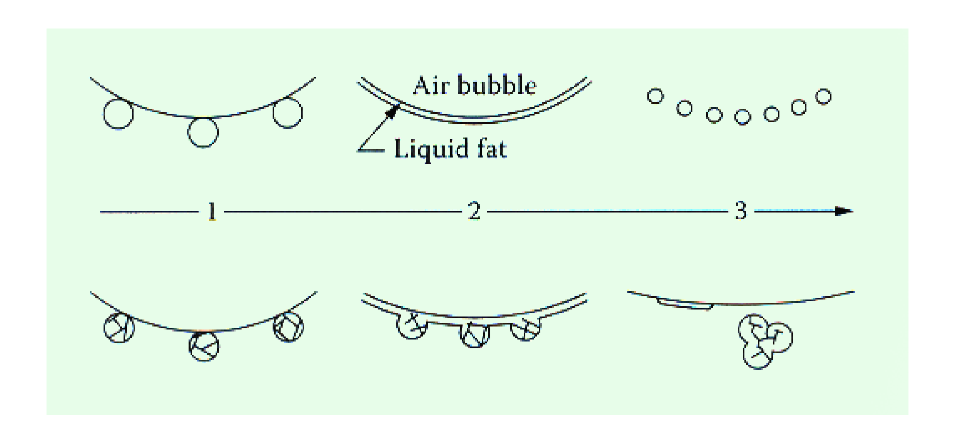
تستطيع الزبدة الآن أن تعبأ فوراً في عبوات البيع بالتجزئة . عادة يطلب أن تكون الزبدة بعد الشغل ناعمة بدرجة كافية لتضخ من الخضاض والمشغل Worker بواسطة مضخة موجبة مناسبة . يسمح للزبدة في بعض الأحيان ، أن تستقر (انظر تحت فصل 2.3.18) ، أو لبعض الوقت ، لسبب آخر ، قبل أن تعبأ . وفي هذه الحالة تكون الزبدة صلبة لكي تمر خلال آلات التعبئة ، ويجب أن تمر خلال "مجنس" زبدة لكي يقوم بتطريتها . وهذا يمكن أيضاً أن يمنع انتشار الرطوبة الذي يجعل الزبدة خشنة أثناء التعبئة .

2.2.18 عملية المخض *The Churning Process*

عدم ثبات كريات الدهن وتفاعلها مع فقاعات الهواء تمت مناقشته في تحت فصل 2.2.3 و32.3 (انظر خاصة شكل 13.3) .

أثناء المخض ، يضرب الهواء داخل الزبدة ويتمزق داخل فقاعات صغيرة . تلامس كريات الدهن هذه الفقاعات ، عادة تنتشر جزء من مواد أغشيتها وبعض من دهنها السائل فوق السطح بين الماء- الهواء ، والذي يصبح متصلاً بفقاعات الهواء ، تصطاد فقاعة واحدة عدة كريات . وهذا يشبه التعويم Flotation ، بالرغم من أن الرغاوي تتجمع في حالة التعويم الحقيقي . في عملية المخض ، تحافظ فقاعات الهواء على حركتها خلال السائل وتتصادم مع بعضها . وعندئذ تلتحم ، وفي هذه الطريقة مساحة سطحها تقل . ونتيجة لذلك كريات الدهن الملتصقة تجر ناحية بعضها البعض . الآن يعمل الدهن السائل كعامل لاصق ، وتتكتل كريات الدهن مع بعضها . تتكون بهذه الطريقة كتل دهنية صغيرة . إن كل هذه التغيرات تم توضيحها في شكل 4.18 .

تساهم الكتل بدورها في عملية المخض منتجة كتلاً أكبر . عندما تصبح الكتل أكبر ، يحدث بينها تصـادم مباشـر بصـورة متزايدة ، وتنمو الكتل الآن بدون أن تلعب فقاعات الهواء أي دور هام . يســود التعويم في البداية والتكتل الميكانيكي (التحام جزئي) لاحقاً . بالإضـــافة إلى ذلك ،



شـــكل 4.18 شـــكل تخطيطي للتداخلات بين كريات الدهن وفقاعات الهواء أثناء عملية المخض . إذا كان الدهن سائلاً ، كريات الدهن تمزق بواسطة الضرب في الهواء (أعلى) . إذا احتوت كريات الدهن على دهن صلب ، تتكون الكتل (أسفل)

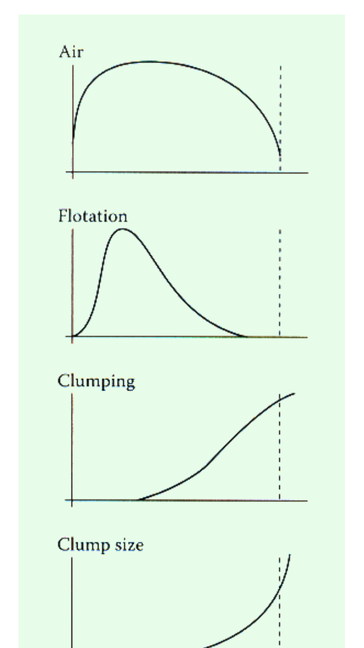
Figure 18.4 Schematic representation of the interactions between fat globules and air bubbles during churning. If the fat is liquid, the fat globules are disrupted by beating in of air (top). If the fat globules contain solid fat, clumps are formed (bottom)

يتم إطلاق دهن ســائل ومواد غشــائية أكثر فأكثر (تنتشــر أولاً فوق فقاعات الهواء وجزئياً يعاد امتصاصه عندما تلتحم فقاعات الهواء) ، يسمى هذا الدهن شبه الغروي ، وهو يتكون من قطرات دهن سـائل دقيقة وبقايا أغشـية . تبقى قليل من الرغاوي تجاه نهاية عملية المخض ، لأن قليلاً من كريات الدهن تبقى وهي غير كافية لتغطية فقاعات الهواء وبذلك تجعل هذه الفقاعات ثابتة . هذه التغيرات تم توضيحها في شكل 5.18 .

تؤثر عوامل عديدة على معدل وكفاءة عملية المخض وشـــكل 6.18 يعطي أمثلة للعلاقات. إن نوع ومســـتوى المخض ، وكذلك ســـرعة دوران المخض عادة ما يؤثر على عملية المخض . يقل وقت المخض Churning time مع زيادة المحتوى الدهني ، ولكن أقل حده عما هو متوقع فيما يخص زيادة احتمالية تصـــادم بين كريات الدهن ، ســـوف يختلف وقت المخض عكســـياً مع مربع المحتوى الدهني (انظر تحت فصـــل 1.3.1.3) ومن الواضـــح أن تعويم المخض Flotation churning هي عملية ذات كفاءة عالية ، حتى اللبن يمكن أن يتم مخضـــه حالاً ، وفقط إذا استخدمت قشدة ذات محتوى دهني عالٍ جداً ، يزداد المحتوى الدهني للبن الزبدة . يكون تأثير حجم كريات الدهن متوقعاً أيضاً . اللبن المجنس لا يمكن مخضه .

تكون نسبة الدهن الصلب حاسمة (انظر شكل 12.3 c) . إذا كان الدهن سائلاً بالكامل . يحدث نوع من التجنيس بدلاً من المخض (شـكل 4.18 الصـف الأعلى) . أيضـاً ، إذا احتوت الكريات على دهن صلب قليل جداً ، فإن القشدة لا يمكن مخضها ، تسحب الكتل المتكونة حالاً إلى قطع . ولكن للباقي ، كلما ارتفعت نسبة الدهن الصلب ، كلما كان المخض بطيئاً وقل محتوى الدهن في اللبن القشـدي . إذا احتوت كريات الدهن قليلاً من الدهن السـائل نسـبياً فإنها تسـتطيع أن تظل متصـلة مع فقاعات الهواء ، والمراحل الأولى لعملية المخض ، والتي يسـود فيها التعويم ، قد يحدث ، ولكن ميكانيكية التكتل تحدث بصـعوبة ، ودرجة الحرارة يجب أن ترتفع لتسـمح بتكوين حبيبات الزبدة .

إن لدرجة الحرارة لها تأثيراً معتبراً على عملية المخض ، ولكن تاريخ درجة الحرارة له تأثير أيضـاً (انظر تحت فصـــل 2.5.3.2) . إذا كان التبريد المســبق غير كافٍ أي تبريد منخفض (أي سائل) سوف تظل كريات الدهن موجودة ، ومحتوى الدهن اللبن الزبدة سوف يزداد . سواء أكانت القشدة حامضية أم لا فإن ذلك لا يؤثر على عملية المخض ، ولكن السبب يكون غير واضح .



شـــكل 5.18 الحوادث التي تحدث أثناء المخض التقليدي كمية الهواء المحصـــورة في القشـــدة تم توضـــيحها ، معدل المخض ، حجم الكتل أو حبيبات الزبدة ، كمية الدهن في الحالة شـــبه الغروية (لا يمكن اســـتعادتها بالطرد المركزي) . الخط المتقطع يوضح نقطة التكسير breaking (تكون حبيبات الزبد التي يمكن رؤيتها بوضوح) . أمثلة تقريبية

Figure 18.5 Events taking place during traditional churning. Shown are the amount of air entapped in the cream; rate of flotation (extent to which fat globules attach to air bubbles); rate of clumping; size of the clumps or butter grains; and amount of fat in a colloidal state (i.e., not recoverable by centrifugation). The broken line indicates the point of "breaking" (formation of clearly visible butter grains). Approximate examples. (Adapted from H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

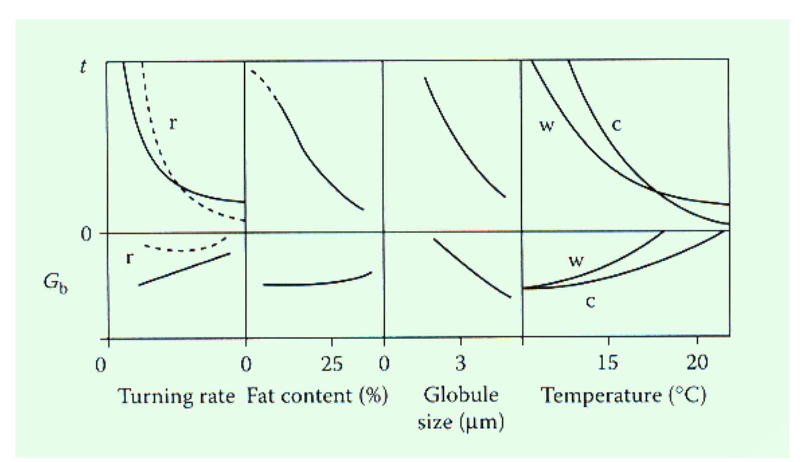
لاحظ في شكل 6.18 أن المخض السريع يتطابق مع محتوى عالٍ للدهن في لبن الزبدة (ماعدا بالنسبة لتأثير حجم كرية الدهن) . إذا انتشر دهن سائل فوق فقاعات الهواء ، تمزيق لكريات الدهن يحدث . بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تهرب كريات الدهن الأصفر بسهولة من عملية المخض إذا تمت بسرعة . يمكن أن يفصل اللبن الزبدة القشدة الحلو بعملية طرد مركزي (اللبن الزبدة الحامض لا يمكن فصله) ، ولكن محتواه الدهني يبقى مرتفعاً نسبياً (50.2 على سبيل المثال) نتيجة للدهن شبه الغروي .

تتم عملية المخض بسرعة كبيرة في ماكينة عمل الزبدة المستمرة ، كلما دار المضرب بمعدل عالٍ جداً . وطبقاً لذلك ، يميل المحتوى الدهني للبن الزبدة إلى الارتفاع إلا إذا كانت القشدة قد سبق تبريدها بشدة (4 درجات مئوية) ويتم مخضها عند درجة حرارة منخفضة (8 إلى 12 درجة مئوية) . تكون قشدة عالية الدهن متطلباً لعملية مخض عالية . يكون تعويم المخض أقل أهمية هنا عنه في المخض التقليدي . القشدة عالية الدهن يمكن أيضاً مخضها بواسطة مضرب يدور بسرعة بدون الضرب في الهواء ، بالإضافة إلى ذلك ، ويكون قت المخض عادة أطول إلى حد ما ، وأن المحتوى الدهني في اللبن الزبدة يكون أعلى نسبياً .

3.2.18 الشغل *Working*

يحدث انعكاس الحالة الجزئي أثناء المخض ، قد تكونت حالة دهن مستمرة في حبيبات القشدة (انظر شكل 2.18) . ولكن في الكتلة الكلية لحبيبات القشدة ، الحالة السائلة مازالت مستمرة . يُنجز الشغل انقلاب الحالة . في هذه المرحلة رطوبة زائدة تعصر وقطرات الرطوبة المتبقية تتمزق إلى قطرات أصغر . هذا لا يخص قطرات الرطوبة الصغيرة جداً التي تترك بين كتل كريات الدهن الفردية ، تكون هذه صغيرة للغاية (حوالي 2 ميكرون) لكي تمزق بواسطة الشغل .

تتشوه أثناء الشغل القشـدة وعلى ذلك يحدث منحنى السرعة (Ψ) . يسبب التشوه (الانسياب Flow) ضغط الشير $\eta \times \Psi$ حيث η هي اللزوجة . الكتلة المنسابة هي مخلوط من الدهن السائل والبلورات المتجمعة ، ليس لها لزوجة حقيقية ، ولكن نتيجة لوجود البلورات فإن اللزوجة الفعلية (η_{eff}) تكون عالية . يحدث الانسياب أيضاً ضغطاً على القطرات الرطبة ، وبذلك يشوهها . إذا يزيد الضـغط الحادث عن ضـغط لابلاس place pressure للقطرة ($d/\delta 4$ ، حيث d هي قطر القطرة و δ التوتر السـطحي بين الزيت– البلازما ، تقدر بحوالي 15Nm.m^{-1}) ، تتمزق القطرة. وهذا تم توضيحه في شكل A7.18 .



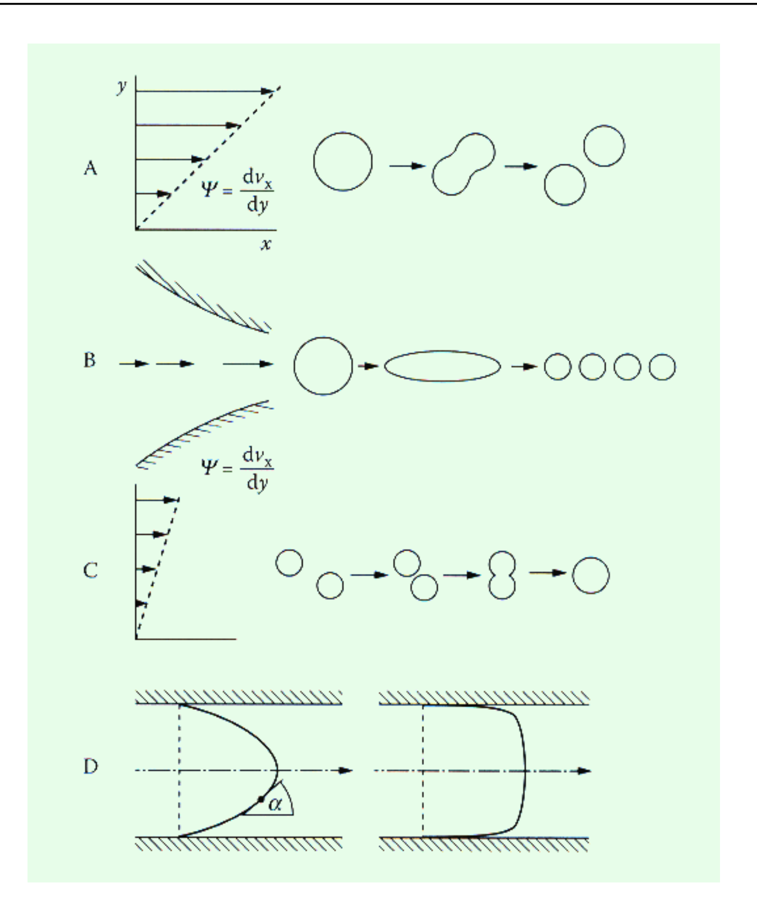
شـكل 6.18 تأثير بعض المتغيرات على وقت المخض (t) والقدرة (كنسـبة دهن في اللبن الزبدة G_b) في مخض تقليدي . المتغيرات هي معدل دوران المخض أو المقلب ، محتوى دهن القشـدة ، متوسـط حجم كرية الدهن ، ودرجة حرارة المخض r = المخض بمقلب دوار ، c = القشـدة تحفظ باردة قبل المخض ، w = القشدة المحفوظة دافئة قبل أن تنقل إلى درجة حرارة المخض . نتائج تقريبية

Figure 18.6 The effect of some variables on the churning time (*t*) and the efficiency (as percentage of fat in buttermilk, G_b) in a traditional churn. Variables are the turning rate of churn or agitator; fat content of the cream; average fat globule size; and churning temperature. r = churn with rotary agitator; c = cream kept cool before the churning; w = cream kept warm before bringing it to churning temperature. Approximate results. (Adapted from H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

وشكل B7.18 . التمزيق Disruption يكون أكثر فاعلية في الانسياب الممتد منه عن انسياب الشير البسيط . يحدث الانسياب الممتد دائماً أثناء الشغل . ومن الواضح ، عند انحدار سرعة عالي (شغل أكثر شدة) أو عند لزوجة عالية للقشدة (كمية كبيرة من الدهن الصلب عند درجة حرارة منخفضة) . يمكن أن تنتج قطرات صغيرة (لاحظ في بعض وليس كل الأوضاع العملية خاصة ، يستخدم ضغط معين لزوجة عالية قد لا تحدث ضغط شير عالٍ ، لأن انخفاضاً نسبياً يحدث في منحدر السرعة) .

أثناء شغل الزبدة ، يختلف انحدار السرعة بصورة واسعة من مكان إلى مكان ومن لحظة إلى أخرى . يوضح شكل D7.18 (في اليسار) نظام السرعة في حالة سريان بويزيللي الحقيقي . وهو يوضح أن انحدار السرعة يتناسب مع $\cot \alpha$ ، يعتمد بقوة على المكان . يمكن أن تكون الاختلافات أكبر بسبب حقيقة أن كتلة الزيت والبلورات تظهر كنوع من سريان السدادة الجزئي (شكل D7.18 ، في اليمين) . وهذا لأن الكتلة لها ضغط ناتج ، عندما تسري الزبدة على طول الجدار (أي خلال فتحة) ، يمكن أن يكون ضغط الشير في الكتلة أكبر بالقرب من الجدار ، لدرجة أن الكتلة تحدث هناك وعلى ذلك تقل اللزوجة الفعلية . في كلمات أخرى ، تتشوه نسبة صغيرة من الزبدة مع منحدر سرعة قوي ، نسبة أكبر مع معدل ضعيف جداً .

بسبب انحدار السرعة ، تتصادم القطرات مع بعضها ويمكن أن تلتحم ، وعلى افتراض أن معدل الشير يكون صغير بصورة كافية لمنع إعادة التمزيق . وهذا تم توضيحه في شكل C7.18 . تردد التصادم لقطره (قطرها d_1) مع قطرات أخرى (عدد لكل وحدة حجم N_2 ، القطر d_2) تكون مساوية تقريباً لـــ $\Psi N_2^3(d_2+d_1)/6$ (انظر تحت فصل 1.3.1.3) . سوف يكون احتمال الالتحام أكبر للقطرات الكبيرة ، ولكن هذه القطرات سوف تكون أسهل تمزيقاً كذلك . تتكون الآن نوع من الحالة الثابتة للتمزي والالتحام (على افتراض أن Ψ و η_{eff} تظل ثابتة) . وهذا ينعكس في حجم قطرة معين ، ولكن توزيع حجم قطره واسع سوف ينتج ولكن كما ذكرنا سابقاً ، Ψ تختلف بصورة واسعة ، لدرجة أن التمزيق أثناء الشغل يسود في بعض الأماكن ، والتحام في أماكن أخرى . مثال ذلك تم توضيحه في شكل 8.18 .

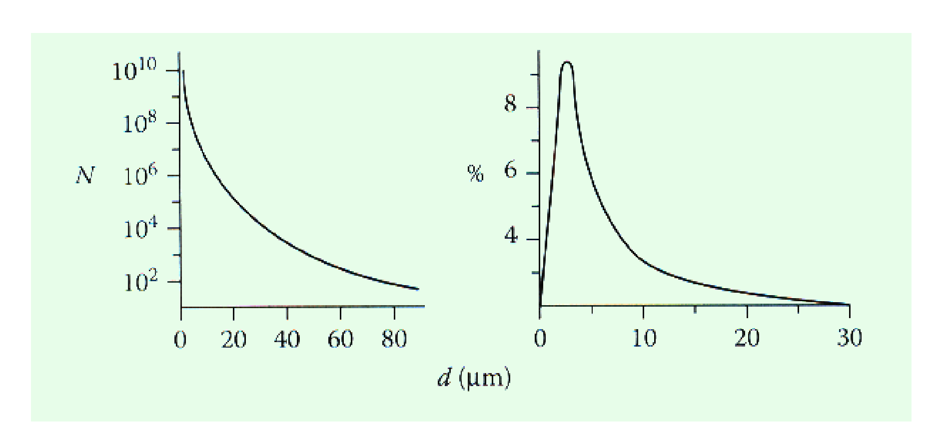


شكل 7.18 شكل توضيحي للتمزيق والالتحام لقطرات رطبة أثناء الشغل للزبدة (أو المارجين) . (A) التمزيق في السريان ذو شير بسيط أي انحدار سرعة عادي في اتجاه السريان (B) تمزيق في انسياب متجمع أي انحدار سرعة في اتجاه السريان . (C) التصادم والالتحام لقطرات صغيرة في السريان ، ضغط الشير أصغر من أن يمزق القطرات . (D) أنظمة السرعة في سريان بويزيللي Poiseuille flow (في اليسار) وفي سريان السدادة الجزئي (في اليمين)

Figure 18.7 Diagrammatic representation of the disruption and coalescence of moisture droplets during the working of butter (or margarine). (A) Disruption in a flow with simple shear, i.e., velocity gradient normal to the direction of the flow. (B) Disruption in a converging flow (= extensional flow), i.e., velocity gradient in the direction of the flow. (C) Encounter and coalescence of (small) droplets in flow; shear stress too small to disrupt the droplets. (D) Velocity patterns in Poiseuille flow (left) and in partial plug flow (right)

يمكن أن تســـاعـد الاعتبـارات المـذكورة في إيجـاد ظروف العمليـات الحقيقيـة التي نحتاجها للحصـــول على منتج بالصـــفات المطلوبة . يجب أن تذكر نقطة إضـــافية . تحدث ســريان الســدادة الجزئي خاصــة عند درجة حرارة منخفضــة (دهن صـلب كثير) ، لدرجة أن توزيع حجمي واســع جداً مع قطرات كبيرة كثيرة العدد يتم الحصــول عليها ، بالرغم من اللزوجة الحقيقية العالية .

بزيادة سرعة الشغل يجعل القطرة أن تصبح أصغر ، تصبح القشدة "جافة Dry" . يمكن أن تدمج الرطوبة داخل الزبدة . أثناء شـغل عند سـرعة ضـعيفة جداً . تظهر قطرات كبيرة ثابتة ، خاصــة عند درجة حرارة منخفضــة تصـبح الزبدة "رطبة Wet" أي أن قطرات مرئية تظهر . وبهذه الطريقة رطوبة زائدة يمكن تشغيلها للزبدة . يمكن أيضاً أن تصبح الزبدة رطبة أثناء إعادة التعبئة في العبوات المخصصة للبيع للمستهلك . حيث يسود انحدار سرعة ضعيف .



شـكل 8.18 مثال لتذبذب التوزيع الحجمي للقطرات الرطبة في زبدة تم خفقها بشـدة . N هي تذبذب الأعداد (لكل مليلتر لكل ميكروجرام عرض) % تشـــير إلى حجم الرطوبة لكل ميكروجرام نظام العرض ، و d هو قطر القطرة

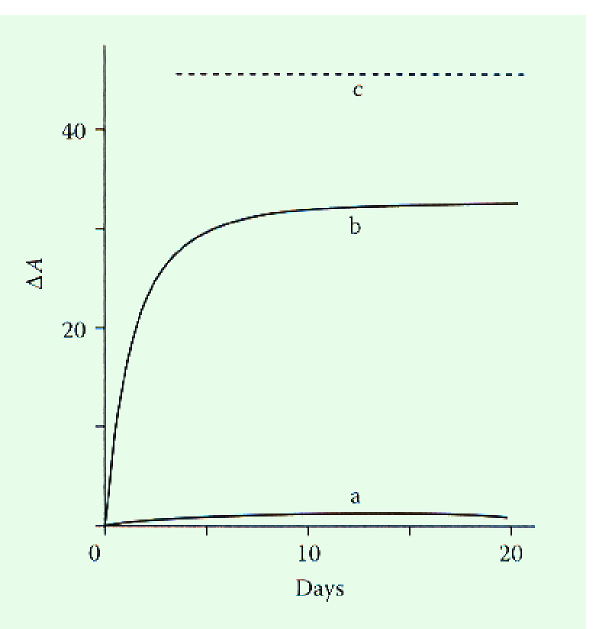
Figure 18.8 Example of the size frequency distribution of moisture droplets in well-worked butter. N is the number frequency (per ml per μm class width); % refers to the volume of the moisture per μm class width; and d is the droplet diameter. (After H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

تمزيق الرطوبة ، أي أن نعومة القطرات تكون ذات أهمية كبيرة للحفاظ على النوعية . وأن التلوث بالكائنات الدقيقة لا يمكن منعه . وعلى ذلك يمكن أن تفســـد الزبدة. ولكن إذا كان هناك مثلاً 10^3 مليلتر$^{-1}$ كائن دقيق و 10^{10} مليلتر$^{-1}$ قطرات رطبة (انظر جدول 1.18) ، ثم جزء للرطوبة يمكن إهماله فقط ســوف يكون ملوثاً ، ويســبب عدم اســتطاعة مرور الكائن الدقيق من قطرة إلى قطرة والتي تصبح ملوثة . أصبح كسر من الرطوبة ملوثاً تكون مناسبة للعد البكتيري للمستعمرة وتقريباً متناســبة مع معدل الحجم $(6/\pi) d_i^3\Sigma / d_i^6 N_i \Sigma$ للقطرة . إذا كانت بعض القطرات كبيرة (رطوبة حرة) تركت في الزبدة ، يحدث نمو الكائنات الدقيقة فوراً . وهذا تم توضيحه في شكل 9.18 .

كلما كانت الفقاعات أصغر كلما كان اللون الباهت للقشدة نتيجة لتشتت الضوء القوي . من المعلوم أن اللون يتحدد بواســطة المحتوى من البيتا كاروتين . في بعض الأوقات تضــاف مواد ملونة .

كلما كانت القطرات أصـغر ، كلما كان طعم الزبدة طري وناعم ، الملح والنكهة يكونان أكثر إدراكاً عن طريق الحواس إذا كانت الزبدة ندية وطرية . وعلى ذلك ، الشــغل الجاف يجب أن لا يبذل بشـكل زائد . خاصـة في الماكينات المستمرة continuous machines الشغل (العصـر خلال مجموعة من الألواح المثقبة) يكون شــديد للغاية . بواســطة هذا النوع من الشـغل كثير من كريات الدهن تكون هيئة شــظايا والزبدة تصــبح شــحمية القوام . كل هذا لا يغير حقيقة أن في حالات كثيرة توجد مشــكلة في الحصــول على قطرات ناعمة بصــورة كافية ، مفضـلاً ذلك على العكس .

شــكل 10.18 يعمل على توضــحي التأثير التقريبي لمتوســط حجم القطرة على الجوانب النوعية التي ذكرت سابقاً . ويتبع ذلك أن هناك حجم قطرة أمثل .



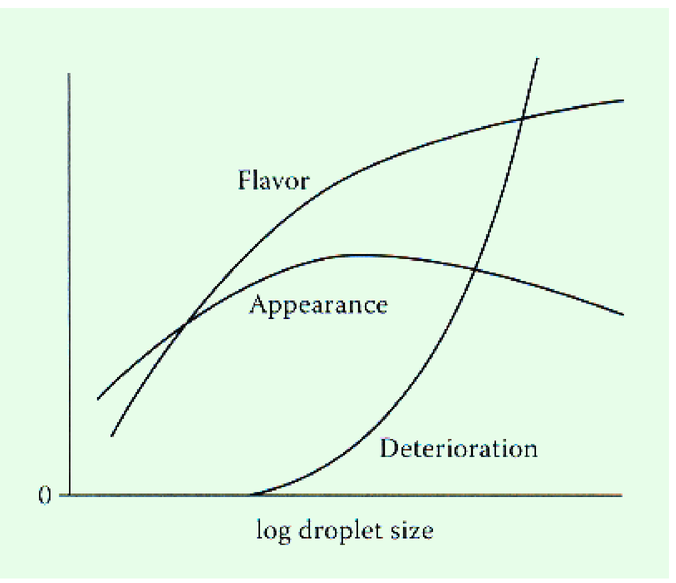
شكل 9.18 زيادة الحموضة (AΔ ، Mm) في مصل الزبدة المحفوظة عند 17 درجة مئوية ، قبل عملية المخض . 10% بادئ تم إضافته إلى القشدة الحلوة . (a) القشدة التي تم مخضها حتى الجفاف . (b) القشدة التي تم قشدها بصورة أقل (c) AΔ النهائية المتوقعة إذا كانت كل القطرات تم تحميضها

Figure 18.9 Increase in acidity (ΔA, mM) of the serum of butter kept at 17°C. Just before churning, 10% starter had been added to the sweet cream. (a) Butter worked until dry. (b) Butter worked less well. (c) Final ΔA expected if all droplets were to acidify. (Data provided by Mulder and Zegger, unpublished)

3.18 الخواص *Properties*

1.3.18 التركيب المجهري *Microstructure*

شـكل 11.18 وجدول 1.18 يوضـح التركيب المجهري للقشــدة . فرق هام وظاهر مع المارجارين (السـمن الصـناعي النباتي) هو وجود كريات دهن عديدة سـليمة جزئياً . إعدادها يعتمد على طريقة التصــنيع ، وتقل بقوة مع الشــغل المكثف والشــديد . لاحظ أن أغلب البلورات في كريات الدهن تكون مرتبة بشكل ملموس .

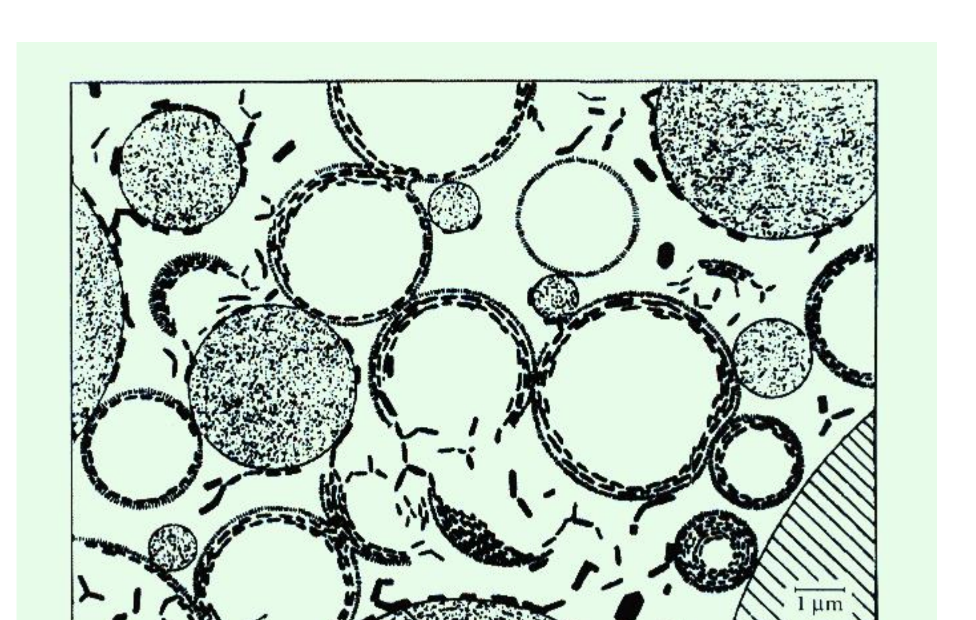


شكل 10.18 شدة استقبال النكهة (قشدة الزبدة المزروعة) ، ظهور الهدف (اللون والمظهر الجذاب) ، ومعدل التدهور بالكائنات الدقيقة . كدالة على متوسط حجم القطرة السائلة للقشدة . والقصد هو توضيح الاتجاهات

Figure 18.10 Intensity of perceived flavor (cultured cream butter), appearance score (color and gloss), and rate of deterioration by microorganisms, as a function of the average agueous droplet size of butter. Meant to illustrate trends

الحالة المســـــتمرة The continuous phase هي الدهن الســـــائل . في بعض الأحيان تتواجد الحالة السائلة المستمرة ، خاصة في الزبد المخفوق بصورة غير كافية . تمر هذه الحالة السائلة جزئياً خلال الطبقات السطحية لكريات الدهن .

حقيقة أن إزاحة الماء خلال الزبدة يمكن أن تحدث عادة لها سبب آخر : حوالي 2% (مجم/حجم) ماء يمكن أن تذوب في الدهن السائل ، والذي يقتضي أن الماء يمكن أن يتخلل خلال حالة الدهن المستمرة .



شكل 11.18 الشكل المجهري للزبدة عند درجة حرارة الغرفة . الدهن السائل يكون أبيض . سمك الغشاء تم تضخيمه بصورة مبالغ فيها

Figure 18.11 Butter microstructure at room temperature. Liquid fat is white. Membrane thickness is greatly (about ten times) exaggerated. (Adapted from H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

تتكون القطرات الرطبة من لبن زبدة (حامض) ولكنها ليسـت دائماً متسـاوية التكوين . توجد الاختلافات نتيجة لإضـافة الماء ، الغسـيل والشـغل في البادئ ، الملح ، أو السـائل الملحي . على ذلك يسـبب الاختلاف في الضـغط الأسموزي نقل الماء ناحية القطرات الأكثر تركيزاً . إذن، القطرات الرطبة بالقرب من بلورة الملح غالباً ما تختفي ، تتغير بلورة الملح إلى قطرة كبيرة ، وطبقاً لذلك يصير الزبد طرياً "Wet" .

جدول 1.18 العناصر التركيبية للزبدة التقليدية

Table 18.1 Structural Elements of (Conventional) Butter

الأبعاد (ميكرومتر) Dimension (μ.m)	نسبة الزبدة (مجم/مجم) Proportion of Butter	العدد التقريبي للتركيز (مليمتر$^{-1}$) Approximate Number	عناصر التركيب Structural Element
5-1	[c]30-5	10^{10}	Fat globule [a]كرية الدهن
0.01-2	[d]40-10	10^{13}	Fat crystal [b]بلورة الدهن
[c]25-1	15	10^{10}	قطرات رطبة Moisture droplet
20 <	-2	10^{6}	Air cell خلية هوائية

a بغشاء كامل

b عند درجة حرارة عالية عادة داخل كريات الدهن ، عند درجات حرارة منخفضة مكونة شبكة صلبة .

c يعتمد بقوة على شدة الشغل

d تعتمد بشدة على درجة الحرارة

a. With (for the greater part) a complete membrane.
b. At higher temperatures mainly inside the fat globules, at low temperatures forming solid networks.
c. Strongly depends on the intensity of working.
d. Strongly depends on the temperature.

يعتمد عدد وحجم بلورات الدهن كثيراً على درجة الحرارة والتاريخ الحراري السابق ، يمكن أن يكون جزء ملموس من الدهن المتبلر داخل كريات الدهن لأنه أثناء المخض يبثق الدهن السائل من الكريات ، عادة بالانتشار فوق فقاعات الهواء . ولكن هناك أيضاً بلورات خارج الكريات ، وتتجمع هذه إلى شبكة مستمرة ويمكن أن تنمو معاً لتكون تركيباً صلباً ، والذي يكون مسئولاً عن ثبات الزبدة . لا تشارك البلورات داخل الكريات في هذه الشبكة ، وعلى ذلك ، فإنها تجعل الزبد بصعوبة ثابتاً . وبسبب ذلك ، يحتوي الزبد على دهن صلب أكثر من الموجود في المارجارين ، إذا كان كلا المنتجين ثابتين بصورة متساوية فإن ذلك يؤدي بدوره إلى الإحساس بالزبدة أبرد في الفم (نتيجة لحرارة الانصهار العالية) . البلورات خارج كريات الدهن تصنع على ذلك ، شبكة مستمرة والتي يشارك فيها جزء من قطرات الماء (عادة مع بلورات تتصل

بسطوحها) وكريات الدهن المصابة بأذى أو ضرر . تستبقي هذه الشبكة الدهن السائل مثل الإسفنجة . عندما تزيد الحرارة ، تنصهر بلورات كثيرة وتصبح الشبكة أقل كثافة وخشونة وبسبب ذلك ، يمكن أن يحدث عدم ثبات وينفصل الزيت عن الزبدة . ويحدث خروج الزيت عادة (عند محتوى دهن صلب متساوي) إذا كانت البلورات أكثر خشونة .

خلايا الهواء عادة ما تحدث في الزبدة ، إلا إذا حدث الشغل في فراغ (والذي يكون ممكناً في الماكينات المستمرة) . بالإضافة إلى ذلك ، تحتوي الزبدة على أعلى من حوالي 4% (حجم/حجم) من الهواء الذائب .

2.3.18 القوام *Consistency*

الزبدة مادة بلاستيكية يمكن أن يحدث لها تشوه باستمرار ، دون أن تفقد قوامها وخواصها الصلبة . ويعرف قوام هذه المادة بأنه مقاومتها للتشوه الدائم . في حالة الزبدة ، هناك عدة عوامل هامة هي : يجب أن تكون الزبدة متماسكة ضد الارتخاء أو الوهن Sagging تحت ثقل وزنها . يمكن حدوث السيولة مع خروج الزيت Oiling off وهو غير مرغوب فيه . يجب أن تكون الزبدة قابلة للفرد دون تقطع أو انكماش . ويجب أن تكون سهلة الذوبان في الفم دون أن تشعر بطعمها الشحمي ، ويتطلب هذا انصهار الدهن بالكامل عند درجة حرارة 35 درجة مئوية .

يحدد قوام الزبدة بواسطة خواص شبكة بلورات الدهن فيها . تبلور الدهن تم معالجته في فصل 5.3.2 ، تحت فصل 7.5.3.2 . يناقش تكوين وشكل الشبكة . من ذلك يتضح أن الدهن البلاستيك يتكون من شبكة متجانسة متوسطة من البلورات ، ممتلئة بالزيت . تكون البلورات ذات شكل صفائحي صغير . تكون البلورات في البداية ، متجمعة مع بعضها بواسطة قوى فانديزفالز ، ولكن بعد ذلك ترتبط مع بعضها بقوة أكبر نتيجة للتلبد Sintering .

عندما يؤثر ضغط صغير (6) على عينة من الدهن الشحمي . ينتج عن ذلك تشوه مرن (عكسي) ، عندما يرفع الضغط ، الشكل الأصلي للعينة يتم استرجاعه . نسبة الضغط إلى الشد (ε) ، والذي يكون ، التشوه النسبي يسمى المعامل المرن Elastic modulus . كثير من المشتغلين بعلم الريولوجي يحددون المعامل ، لأنه يعتبر مقياساً هاماً تميز به المادة الصلبة . في الدهن البلاستيكي ، عادة ، فوق قيمة صغيرة جداً للشد قيمة $\varepsilon/6$ تبدأ في الانخفاض والتشوه يصبح مستمراً (جزئياً Partly) . للزبدة الشد الحرج Critical strain الذي عنده يحدث هذا هو حوالي 1% . يكون هذا الفرق ملحوظاً عندما يُفْرِدْ المنتج الزبدة تبدي سلوكاً أكثر مرونة . والتفسير هو أن بلورات دهن القشدة تكون أكثر رقة نسبياً Relatively thinner ، وتستطيع أن تكون أكثر استعداداً للثني ، من بلورات الدهن النباتي .

عندما نزيد الضغط ببطء على دهن بلاستيكي ، تتكسر أعداد متزايدة من الروابط في بلورات الشبكة ، والتي تقتضي تغيراً في التركيب غير عكسي . إذا كان الضغط كبيراً بدرجة كافية ، سوف تبدي المادة إذعاناً Yielding يعني هذا أنها تبدأ في الانسياب ، الضغط الذي يحدث ذلك يسمى ضغط الإذعان Yield stress (σ_y) . وهذا تم توضيحه في شكل A12.18 (لأن قيمة σ_y تعتمد على حساسية المعدة (الآلة) المستخدمة ، ويفضل بعض المشتغلين استخدام ضغط الإذعان ... الاستقرائي σ_B Extrapolated Bingham Yield Stress . تكون قيمة الضغط عند الإذعان 25% . تقريباً تعتمد كل جوانب القوام الهامة للدهن البلاستيكي على ضغط الإذعان منه على المعامل Modulus . تحدد أغلب الطرق المستخدمة في التطبيق التي ثبات الزبدة لها علاقة بضغط الإذعان . تشمل الطرق قياس مسافة احتراق مخروط من العينة ، أو القوة المطلوبة لقطع سلك ، أو رفع مجس داخل العينة .

تزداد قيمة ضغط الإذعان بقوة بزيادة محتوى الدهن الجاف ، كما تم توضيحه في شكل B12.18 . يكون للمدى الذي يحدث عنده التلبد أيضاً تأثير قوي . لنفس

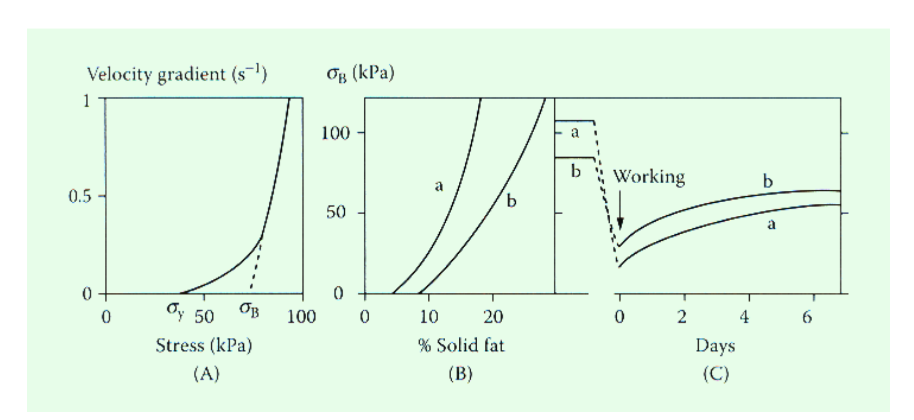
محتوى الدهن الصلب . يميل ضغط الإذعان إلى الكبر إذا كانت الشبكة المكونة للبلورات تكون أصغر . عملية الشغل للدهن ، والتي تعني تشوهه بقوة ، يقلل صلابته بصورة ملموسة . ويسمى هذا شغل التنعيم work softening . تزداد ثانية بعد الشغل ، قيمة σ_y . ويكون هذا نتيجة لتجمع شظايا الشبكة ، إلى تركيب فراغي ممتلئ . ونتيجة للتلبد . التغيرات تم توضيحها في شكل C12.18 .

بالمقارنة بالدهن البلاستيكي ، الزبدة لها عناصر تركيبه إضافية جزء من الدهن في كريات الدهن ، ولا تساهم البلورات في هذه الكريات في مصير الشبكة البلورية . إذا كان ذلك يمثل جزءاً أساسياً من الدهن الصلب .

فإن صلابة الزبدة سوف تقل . ويمكن أن يكون هذا واحداً من الأسباب التي تجعل الزبدة أقل صلابة من المارجارين (السمن النباتي) لنفس محتوى الدهن الصلب (انظر شكل B12.18) . سبب آخر لهذا هو أن كريات الدهن يمكن تخل الشبكة البلورية ، وتجعلها أقل تجانساً ، تميل الأخيرة إلى خفض ضغط الإذعان للمادة . تخل القطرات السائلة أيضاً من نظام الشبكة البلورية . ومع ذلك ، هناك علاقة واضحة بين الصلابة ومحتوى الرطوبة أو حجم القطرة لم يتم فهمها بصورة كاملة . ومن المفترض أن التغير في هذه المؤشرات يكون صغير جداً .

السؤال الآن هو : ما هي الإجراءات التي يمكن إتباعها ، في التطبيق ، للتأثير على صلابة الزبدة؟ المتغيرات الهامة هي :

1. درجة الحرارة ، والتي لها تأثير قوي جداً ، كما هو موضح في شكل 13.18 ، للجزء الأكبر الذي يسببه تأثيرها على محتوى الدهن الصلب . بالرغم من أنه عند درجة واحدة ، تختلف القيم بعامل قدره 3 . توضح جميع المنحنيات انخفاضاً في الصلابة بعامل قدره حوالي 30 عندما تنتقل من درجة حرارة 10 إلى 20 درجة مئوية . ويشكل هذا مشاكل هامة ، في درجة حرارة المبرد ، يمكن أن تكون الزبدة غير قابلة للفرد حقيقة ، وعند درجة حرارة الغرفة ، يمكن أن تبدي خروجاً للزيت .

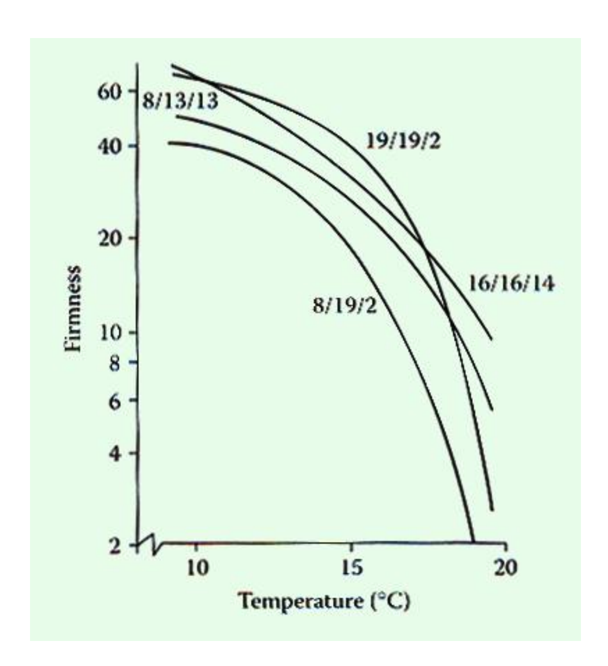


شكل 12.18 (A) معدل تشوه الزبدة كدالة عن الضغط المؤثر ، σ = ضغط الإذعان ، (B) الصلابة كضغط إذعان بينجام (σ_B) كدالة عن نسبة الدهن الجاف . (C) تأثير الشغل وطول وقت الشغل بعد الشغل على σ_B . a = الدهن البلاستيكي أو المارجارين ، b = الزبدة . أمثلة تقريبية .

Figure 18.12 (A) Deformation rate of butter as a function of the stress applied; σ_y = yield stress. (B) Firmness as Bingham yield stress (σ_B) as a function of the percentage of solid fat. (C) Effect of working and of the length of time after working on σ_B . a = plastic fat of margarine; b = butter. Approximate examples. (Adapted from P. Walstra and R. Jenness, *Dairy Chemistry and Physics*, Wiley, New York, 1984)

2. إن للمكون الدهني تأثيراً واضـــحاً . يمكن أن يختار اللبن المســـتخدم في عمل الزبدة بعناية ، فمثلاً طبقاً لمنطقة المنشـأ . وبالتالي ، يمكن أن تكون القشـدة مجمدة وفي موسـم آخر تكون مخفوقة مع الزبدة الطازجة . وبالمثل ، يمكن ضـرب الزبدة الصـلبة والطرية معاً . يمكن أن يتأثر المكون الدهني عن طريق علف الحيوان (البقرة) ولكن هذا لم يطبق عملياً بعد .
3. إن لطريقة التصنيع تأثيراً واضحاً ، خاصة المعاملة الحرارية للقشدة . شكل 13.18 يوضح بعض الاتجاهات ، ويمكن أيضـاً أن يتأثر اعتماد الصـلابة على درجة الحرارة إلى حد ما . (لاحظ : تمثل المعاملة الحرارية للقشـدة عادة بـــ c/b/a ، حيث c, b, a هي درجات الحرارة المتتابعة . يمكن أن تقيد المعاملة الحرارية للقشدة بشروط معينة :

a. يجب أن يكون التحميض كافياً (درجة حرارة عالية لوقت كافٍ) .



شكل 13.18 الصلابة (كما تم قياسها بواسطة جهاز Penetrometer ، وحدات تقديرية) للزبدة كدالة لدرجة الحرارة المقاسة . الزبد من نفس القشدة ، ولكن بمعاملة حرارية مختلفة للقشدة (موضحة في المنحنيات بالدرجة المئوية)

Figure 18.13 Firmness (as measured by a penetrometer; arb9itrary units) of butter as a function of the temperature of measurement. Butters from the same cream, but with different cream temperature treatment (indicated on the curves in °C). (Courtesy of H. Mulder)

b. تتم تبريد القشدة عالية الدهن المحمضة ببطء شديد بسبب معامل النقل الحراري المنخفض .

c. يجب أن يسـير المخض (الخفق) بشـكل مرض ، ويمكن فقط أن ينجز هذا في حدود مسـتوى حراري ضيق نسبي .

d. يجب ألا يكون محتوى الدهن للبن الزبدة مرتفعاً للغاية ، ويقتضي هذا أن محتوى الدهن السائل يجب ألا يكون مرتفعاً جداً أثناء المخض .

مثال هو درجة الحرارة الثابتة أي 13/13/13 درجة مئوية ، التي تطبق خاصة للحصول على قشدة صلبة . ولكي نحصل على زبدة طرية ، التبريد في خطوات يستخدم عادة ، قبل تبريد قصير وعميق يكون ضرورياً للحصول على تنوية كافية sufficient nucleation . مثل 14/20/8 درجة مئوية . (وهذا عادة ما يسمى طريقة النارب Alnarp method) . نتيجة للتبريد في خطوات ، وسوف ينتج دهن صلب قليل إلى حد ما طبقاً لنظرية البلورات المركبة ، ولكن الاختلافات تكون صغيرة . في المتوسط ، سوف تكون البلورات أكبر أيضاً ، ومن المحتمل ، سوف تكون نسبة عالية من الدهن الصلب داخل كريات الدهن . لا يوجد تفسير كمي لذلك . في عمل الزبدة المستمر من الزبدة الحلوة . (انظر أيضاً فصل 4.18) ، 12/4/4 درجة مئوية تطبق : بعد الفصل تبرد الزبدة ، تحفظ باردة في صهاريج كبيرة ، وترفع إلى درجة حرارة المخض (الخفق) بواسطة مبادل حراري وتخفق . وكما ذكر ، كلما ارتفعت نسبة الدهن في كريات الدهن ، كلما قلت الصلابة . يمكن أن تخفض الشغل المكثف للغاية والمطول كمية الدهن في الكريات .

4. إن لظروف التخزين تأثيراً هاماً على القوام . للبدء ، سوف تبدأ القشدة أسرع عند درجة حرارة أعلى (انظر شكل 14.18) . السبب هو التلبد الزائد نتيجة للتغيرات في عملية التبلور ، مثل إعادة ترتيب البلورات المركبة والتغيرات عديدة الشكل ، تتم هذه التغيرات ببطء أكثر ، إذا توافر دهن سائل أقل (درجات حرارة منخفضة) . يمكن أن يستمر الوضع لمدة طويلة ، عند معدل متناقص وسوف يكون أسرع إذا تم رفع درجة حرارة الزبد مؤقتاً . ثم ينصهر الدهن الصلب يتصلب . ببطء مرة أخرى بالتبريد اللاصق ، ولذلك يمكن أن يتكون تركيب أكثر صلابة. في هذه الحالة ، يمكن أن تزداد الصلابة بأكثر من 70% . على الخصوص تكون القشدة المصنوعة طبقاً لطريقة النارب حساسة لتذبذبات الحرارة . ولأن هذا ما يحدث عادة أثناء بيع واستهلاك الزبدة . يمكن أن

تكون التأثير المناسب لمعاملة حرارية معينة للزبدة على قابلية الفَرْد وانتشار القشدة مخيبة للآمال عند التطبيق .

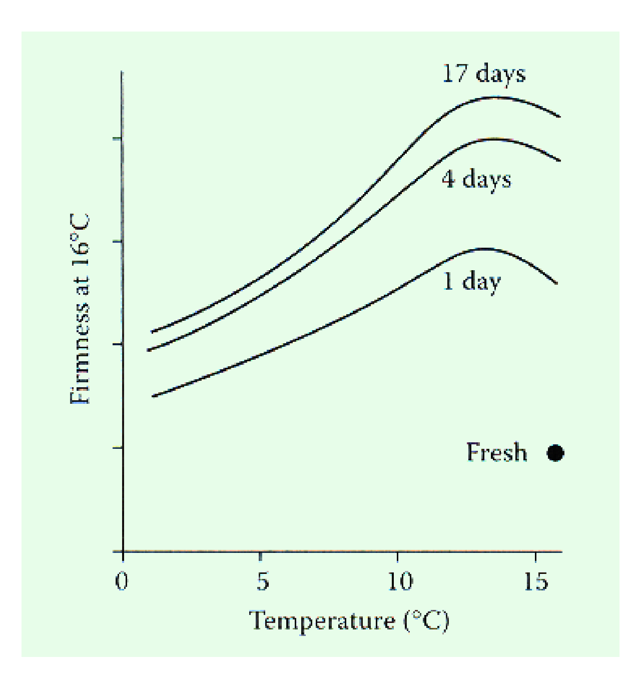
5. يسبب الشغل على القشدة النقص الشديد لصلابتها لأن التراكيب الصلبة تُكْسَرْ (شكل C12.18) . من الواضح أن القشدة يحدث لها تغيير نتيجة للشغل ولكن لا ترجع إلى صلابتها الأصلية . وعلى ذلك ، للحصول على قشدة متماسكة ، يجب أن تتم التعبئة حالاً بعد التصنيع ، بينما تكون القشدة مازالت طرية للغاية (التعبئة نفسها تستخدم شغل مكثف) ، يمكن بعد ذلك أن تحفظ القشدة المعبأة وخاصة إذا لم تخزن باردة للغاية . إذا كان مطلوباً عمل قشدة طرية (سهلة الفرد) ، فإن أحسن السياسات هي أن تترك أولاً لتستقر لفترة زمنية معتبرة بعد التصنيع ثم تعبأ بعد ذلك . ولكي نسمح بعملة التعبئة ، يجب أولاً أن تكون الزبدة طرية بعد التشغيل في مجنس القشدة .

3.3.18 عيوب التخزين البارد *Cold Storage Defects*

للحفاظ على القشدة لمدة طويلة ، يجب تخزينها عند درجة حرارة ‎-20‎ درجة مئوية . إذا كانت القشدة تم تصنيعها بصورة جيدة ، وإذا كان اللبن الأصلي لا يحتوي على بكتيريا كثيرة بإنزيمات ليبيز مقاومة للحرارة ، ويمكن حفظها لمدة طويلة جداً من الزمن في تخزين بارد . ثم بعد ذلك سوف تتدهور بواسطة الأكسدة الذاتية للدهن ، مؤدية إلى عيوب نكهة بعد فترة من شهر واحد حتى سنتين . إن العوامل المؤثرة في الأكسدة الذاتية تمت مناقشتها في تحت فصل 4.3.2 .

يعتمد الحفاظ على النوعية في التخزين البارد على طريقة التصنيع . المتغيرات التصنيعية لها تأثير وصفها في النص التالي :

1. يجب أن يمنع كلياً التلوث بكميات ضئيلة من النحاس .



شكل 14.18 تأثير درجة الحرارة ووقت التخزين على صلابة القشدة (المقاسة بواسطة جهاز قياس مسافة احتراق مخروط من العينة ، وحدات تقديرية) تم تقديرها عند 16 درجة مئوية . النقطة توضح صلابة القشدة الطازجة

Figure 18.14 Effect of temperature and time of storage on the firmness (measured with a penetrometer; arbitrary units) of butter, determined at 16°C. The point indicates firmness of the fresh butter. (Courtesy of H. Mulder, *Zuivelonderzoek*, Vol. 2, The Hague, Algemeene Nede3rlandsche Zuivelbond FNZ, 1947)

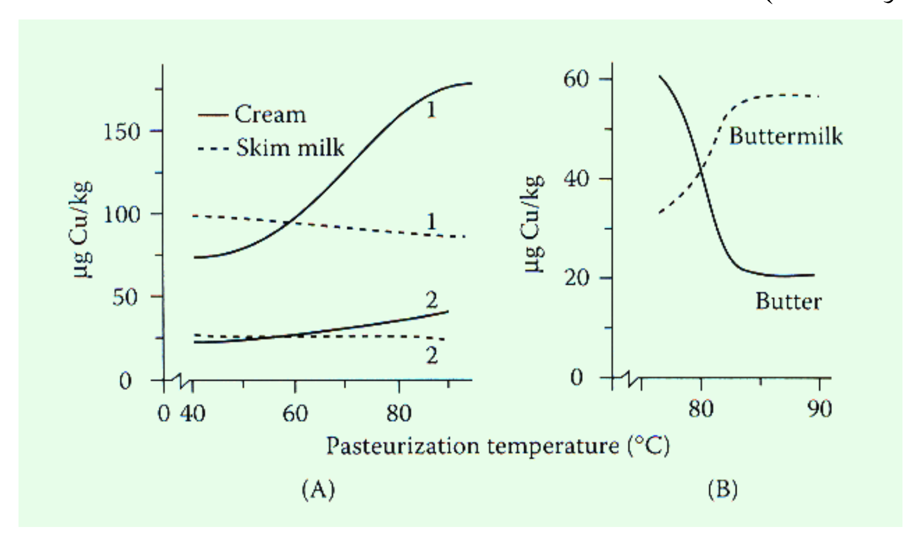
2. بواســـطة تبريد اللبن لبعض الوقت قبل اســـتخدامه (على الأقل لمدة ســـاعتين عند درجة 5 مئوية) . جزء من النحاس في كريات الدهن يتحرك إلى البلازما ، وهذا يمكن أن يحد الأكسدة الذائبة . بالإضـــافة إلى ذلك ، يســـبب التبريد هجرة البروتين إلى البلازما ، وبالذات البروتين الذي يحرر غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S أثناء المعاملة الحرارية . بهذه الطريقة ، يمكن أن تكون نكهة مطبوخة بعد المعاملة الحرارية محدودة . في مناطق كثيرة يحفظ أغلب اللبن بارداً لمدة في خزانات كبيرة في المزرعة .

3. يسبب تسخين اللبن أو الزبدة هجرة النحاس من البلازما إلى كريات الدهن (انظر شكل A15.18) بسترة اللبن يجب تجنبها لأن كثيراً من النحاس يكون متوافراً ويهاجر في اللبن أكثر من هجرته إلى الزبدة . يجب ألا تكون درجة الحرارة أكثر ارتفاعاً حتى أثناء المعاملة الحرارية .
4. نتيجة لتحميض القشدة (أو اللبن) ، جزء هام (30 إلى 40%) من النحاس المضاف (أي النحاس الذي دخل عن طريق التلوث) يتحرك إلى كريات الدهن وبسبب ذلك ، تتأثر القشدة من الزبدة المحمضة كثيراً بواسطة الأكسدة الذاتية عن تلك القشدة الناتجة من الزبدة الحلوة .
5. بالرجوع إلى الهجرات المذكورة في البندين السابقين ، يكون من المهم أن نضبط المحتوى الدهني في الزبدة عند مستوى عالٍ لأن هذا يسبب انخفاض محتوى النحاس في القشدة .
6. يمنع تسخين الزبدة الهجرة كثيراً أثناء التحميض المذكور في بند 4 (انظر شكل B15.18) . في كل الاحتمالات ، يصبح النحاس مرتبطاً كبريتيدات ذات كتلة مولارية منخفضة ، خاصة كبريتيد الهيدروجين الذي تكون بواسطة المعاملة الحرارية . وهذا يسبب يقلل بقوة الأكسدة الذاتية في زبدة القشدة المحمضة . وعلى ذلك ، يكون من الأفضل أن تقوم بعملية بسترة شديدة للقشدة ، ولكن عندئذ يتكون كثير من غاز كبريتيد الهيدروجين ، وينتج عن ذلك زبدة ذات نكهة غازية Gassy أو مطبوخة Cooded . بالرغم من أن هذه النكهة المعيبة تقل قليلاً أثناء التخزين ، إلا أنها مرفوضة لذلك يجب أن تكون ظروف البسترة مثالية (أي ليست عالية جداً أو منخفضة جداً) ، وبالطبع ، كلما كان وقت الاحتجاز قصيراً كلما كان أفضل .
7. يسرع إضافة الملح إلى زبدة القشدة المحمضة الأكسدة الذاتية بصورة ملحوظة . في زبدة القشدة الحلوة محتوى الملح العالي له تأثير مخفض للأكسدة .
8. كلما انخفضت درجة حرارة التخزين ، كلما طالت نوعية الحفظ .

4.18 الزبدة الناتجة من القشدة الحلوة *Cultured Butter From Sweet Cream*

غالباً ما نواجه مشكلة لبن زبدة القشدة الحامضة بسبب فترة الصلاحية القصيرة جداً والطلب عليها كمشروب عادة ما يكون قليلاً . بالإضافة إلى ذلك ، لا يمكن بسترتها . لبن زبدة القشدة الحلوة يمكن تصنيعه بسهولة . ومن جانب آخر ، تفضل أسواق عديدة الزبدة العطرية ، والتي تحتوي على حامض (حامض اللاكتيك) ومواد النكهة (عادة داي أسيتيل Diacetyl) . محاولات تم إجراؤها لخفق القشدة الحلوة وإضافة بادئ لحبيبات القشدة بعد ذلك وعمل شغل لها داخل الزبدة ، ولكن النتائج كانت مخيبة للآمال ، تبقى النكهة مماثلة للموجودة في القشدة الحلوة . وهذا غير مدهش ، لأن التحميض وإنتاج الداي أسيتيل في القشدة يمكن أن يحدث بصعوبة إذا تم الانتشار الجيد للرطوبة (انظر شكل 9.18) ، يبقى الأس الهيدروجيني أيضاً مرتفعاً .

طورت النيزو NIZO (Ede, the Netherlands) طريقة تصنيع بديلة . تم فيها إجراء عملية شُغل لحبيبات زبدة قشدة حلوة مع بادئ عطري وراشح بادئ مركز ، وخصوصاً محلول حامض اللاكتيك . شكل توضيحي لعمل هذه الزبدة تم توضيحه في شكل 16.18 ، المخض والشغل يمكن إتمامهما في جهاز مخض ومُشغل . أو في آلة عمل زبدة مستمرة Continuous butter- malting machine . يجب أن يكون محتوى الماء الابتدائي (بعد الشغل الأول) منخفضاً ويجب ألا يتعدى حد 16% بعد ذلك . عند تحضير راشح بادئ ، شرش نزع منه اللاكتوز جزئياً Partly delactosed whey . يتم تحميضه بواسطة بكتيريا لاكتوباسيلليس هيلفيتيكيس *Lactobacillus helvehicus* ، ثم يتم تنقية المحلول بواسطة ترشيح فائق ، ويركز الراشح بالغليان . عندئذ يكون محتوى حامض اللاكتيك في الراشح حوالي 16% (الحموضة M1.8) .

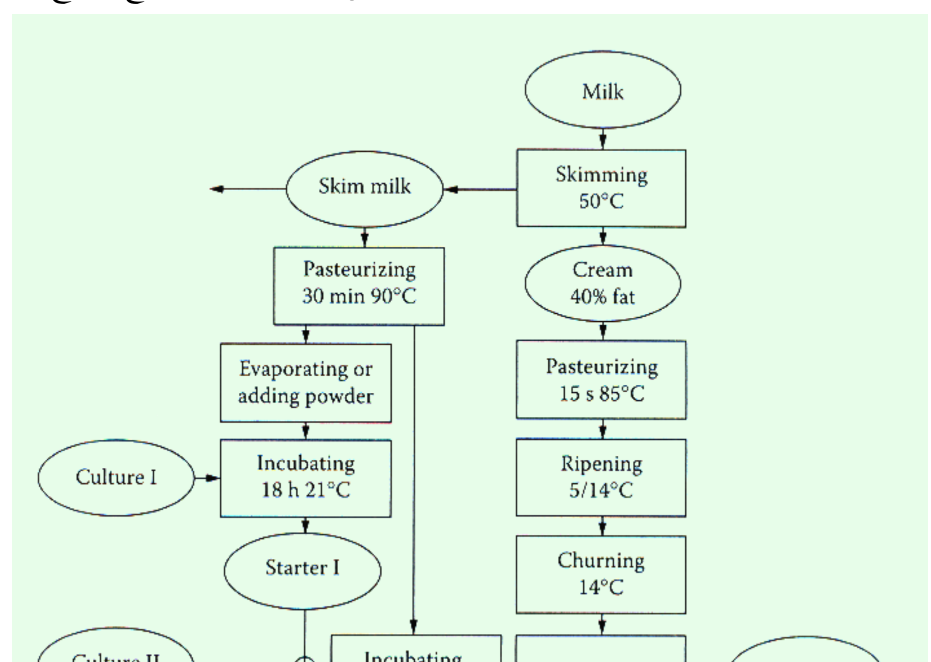


شكل 15.18 تجزئة النحاس على المنتجات كدالة على درجة حرارة البسترة (البسترة لمدة 15 ثانية) . A تسخين اللبن قبل نزع القشدة ، أمثلة للبن يحتوي نحاس عالٍ (1) ومحتوى منخفض (2) . B . تسخين القشدة وتقدير الكميات بعد التحميض والمخض

Figure 18.15 The partion of copper over the products as a function of the pasteurization temperature (pasteurizing for 15 s). A. Heating of the *milk* before skimming; examples of milk with a high (1) and with a low (2) copper content. B. Heating of the *cream* and estimating the quantities *after souring* and churning. (After H. Mulder and P. Walstra, *The Milk Fat Globule*, Pudoc, Wageningen, 1974)

في البداية يتم عمل بادئ عطري بعيداً عن راشـــح البادئ . هذا له مســـاوئ وهي أن النكهة يجـب أن تتكون بعـد عمـل الزبـدة وأن تكوُّن النكهـة يعتمـد كثيراً على الظروف الســـائدة ، إذا نقلـت الزبـدة مباشـــرة للتخزين البـارد فـإن النكهـة من الصـــعب أن تتكون ، بينمـا يمكن أن يكون إنتاج النكهة عند درجة حرارة الغرفة شـــديداً إذا لم يكن للقشـــدة انتشـــار رطوبي دقيق جداً .

وعلى ذلك ، ينمو بادئ عطري في لبن الفرز المبخر (يحتوي على ســلالة منتقاة لســلالة داي أسـيتيلاكتيس *Diacetylactis*) . (البادئ I في شـكل 16.18) : ويخلط مع راشـح البادئ



شكل 16.18 مثال لتصنيع الزبد العطري طبقاً لطريقة نيزو (NIZO)

Figure 18.16 Example of the manufacture of aromatic butter according to the NIZO method

ثم يتم تهويته فيما بعد . يتكون في هذه الطريقة داي أســـيتيل كافٍ لكي يعطي الزبدة كمية أكبر من مليجرام واحد لكل كيلوجرام من البداية ، البكتيريا يتم قتلها بواســـطة المحتوى العالي لحامض

اللاكتيك ، ولذلك لا يحدث نقص للداي أسـيتيل . يسـهم البادئ II ببعض مكونات النكهة الأخرى ويمكن أن يسبب تكوين مستمر للداي أسيتيل ، تركيز الأخير في القشدة من المحتمل أن يتأرجح بين 1.5 إلى 2.5 مليجرام/كيلوجرام .

من الواضـح أن القطرات الرطبة سـوف توجد في الزبدة التي تختلف في المكونات : لبن الزبدة الحلو ، البادئ ، والبادئ مع راشـح البادئ . بعض المكونات يمكن أن تهاجر مثل الماء وحامض اللاكتيك (ببطء) وخاصـة الداي أسـيتيل ، التي تكون ذات قابلية معتدلة للذوبان في الدهن (معامل التجزئة بين الماء/الزيت التقريبي يساوي واحد) .

تكون العملية أكثر تعقيداً من عملية تصـنيع الزبدة التقليدية ، ولكن ذلك لا يشـكل مشكلة في مصـانع الألبان المركزية . بالإضـافة إلى ذلك ، يمكن أن يكون التالي فروقاً هامة مقارنة بالزبدة التقليدية :

1. يتم الحصول عل لبن زبدة القشدة الحلو (عادة الغرض الأساسي من العملية) .
2. تحتاج العملية إلى بادئ أقل .
3. تكون البادئات المطلوبة حساسة جداً للاقمات البكتيريا (خاصة البادئ I) ولذلك يجب أن يمنع التلوث باللاقمات البكتيرية .
4. يزداد محتوى الدهن غير الصلب للزبدة قليلاً وكذلك الإنتاجية .
5. تكون النكهة العطرية للزبدة المتحصل عليها أكثر وضوحاً .
6. يمكن أن يكون محتوى النحاس في الزبدة أكثر انخفاضـاً (انظر تحت فصـل 3.3.18 ، بند 4) . ليس مستغرباً في أن تكون الزبدة ثابتة جداً للأكسدة الذاتية .
7. يمكن أن تكون كمية الأحماض الدهنية الحرة في الزبدة منخفضـة . يوجد في القشـدة تعادل تجزيئي بين الأحماض الدهنية الحرة في الدهن وفي البلازما . كلما انخفض الأس الهيدروجيني، كلما قل تحلل الأحماض الدهنية ($pK_a = 4.8$) ، وبذلك ترتفع ذوبانيتها في الدهن وتقل في الماء . بالإضـافة إلى ذلك ، يظهر أن حموضـة الدهن تزداد بعض الشـيء

بالمخض عند أس هيدروجيني منخفض (التفسـير غير معروف) . وعلى ذلك ، سـوف تحتوي الزبدة من القشـدة الحامضـية على كمية أكبر من الأحماض الدهنية الحرة وسـوف تكون أكثر استعداداً للوصول إلى نكهة مزنخة صابونية .

8. ولأنه أثناء نضوج القشدة لا تؤخذ الحموضة في الاعتبار ، تكون أكثر حرية في اختيار المعاملة الحرارية الأفضـل لضـبط قوام الزبدة . وعلى العموم ، هناك درجة حرية أكبر في اختيار طريقة التصنيع .
9. تكون القشـدة الحلوة أكثر سـهولة في الضـخ والمرور خلال المبادل الحراري باسـتثناء البند 3 ، هناك كل المميزات لتصنيعها .

5.18 المنتجات عالية الدهن ***High- Fat Products***

بجانب الزبدة هناك منتجات أخرى عالية الدهن والتي يكون فيها الدهن الحالة المسـتمرة continuous phase . تُصـنع هذه المنتجات لأسـباب مختلفة . تقليدياً ، تصـهر الزبدة لزيادة المحافظة على نوعيتها . أي بعد تسـخين الزبدة ، يفصـل زيت الزبدة المتكون . الزبدة المسـتخلصـة يكون لها وقت صـلاحية طويل . يعرف هذا المنتج في هذه الأيام ، بدهن اللبن غير المائي Anhydrous milk fat ويمكن أن يسـتخدم كما هو في المطبخ لأنه ، بعكس الزبدة ، تسـمح بالتسـخين عند درجة حرارة عالية . وفي بلد مثل الهند حيث تكون درجة الحرارة عالية لصـنع الزبدة ، تصنع السمنة ghee من لبن الجاموس .

يمكن أن يحور الـدهن المفصـول و/أو يجزأ بطرق مختلفـة . يمكن أن يكون الغرض الأسـاسـي تغيير سـلوك تبلور الدهن . يمكن أن يسـتخدم الدهن المحور في الزبد المعاد تركيبه ، في الشـوكولاته (كإحلال جزئي لزبدة للكاكاو) ، في المنتجات المخبوزة ، في الجبن المعاد تركيبه (لحدد خروج الزيت) ، أو في بودرة اللبن الجاهزة (يعطي الدهن السائل خواص فورية جيدة) .

يمكن من دهن اللبن واللبن الفرز صناعة الزبدة المعاد تركيبها الغرض يمكن أن يكون منها رفع قيمة القشدة منخفضة النوعية أو الحصول على منتج له خواص أخرى ، مثل صلابات مختلفة ، محتوى مائي عالٍ ، محتوى عالٍ من أحماض دهنية غير مشبعة عديدة . مثل أنواع عديدة من المواد الناشرة تصنع ، خاصة ناشرات دهن منخفض . ولكي ننجز ذلك ، يمكن أن تصنع توليفة من دهن البن والزيت النباتي. وبالمقابل ، يمكن أن يُشغل زيت نباتي (مثل 25 إلى 30% زيت فول صويا نقي) داخل زبدة لكي نحصل على مخلوط قابل للفرد **spread able mixture** ، مثل البريجوت السويدي **Swedish Bregott** . إن بعض العمليات التصنيعية والمنتجات يتم الآن مناقشتها .

1.5.18 دهن اللبن اللامائي ***Anhydrous Milk Fat***

الاحتياجات العامة الأكثر أهمية هي أن الدهن يجب أن يكون نقياً للغاية . وثابتاً للأكسدة الذاتية . ولتأمين ذلك ، يجب أن يستخدم لبن طازج جيد النوعية ، التلوث بآثار من النحاس محدد قوي لنوعية الزبدة . يجب ألا يتجاوز المحتوى المائي 0.1% ، لأن القطرات الرطبة يمكن أن تتكون عند درجة حرارة منخفضة . إذا كان المحتوى المائي أعلى (حتى 0.4%). المنتج عادة ما يسمى "زيت الزبدة" .

هناك عمليات تصنيع عديدة ، وكقاعدة ، نبدأ من الزبدة ، وبالمقابل ، يمكن أن نصنع قشدة عالية الدهن (باستخدام الطرد المركزي لمرتين) ويتم انقلاب حالة فيها . إذا مستحلب مركز للغاية لزيت في- الماء (O/W) حدث له عدم ثبات **Destabilized** ، مستحلب الماء في- الزيت (W/O) عادة ما يتكون . ولتحقيق ذلك ، يمكن أن تمرر قشدة عالية الدهن خلال خضاض ، مضخة خاصة ، أو حتى مجنس ، عادة ، انقلاب الحالة **Phase inversion** يسهل حدوثه بتعرض القشدة أولاً للغسيل أي التخفيف بالماء وإعادة الفصل .

إذا مررت القشـدة المحتوية على 82% دهن خلال سـطح خادش لمبادل حراري بينما تكون باردة بشكل كافٍ لكي يحدث بلورة للدهن ، فإن الزبدة تتكون . عندما تصنع من القشدة الحلوة ، فإن الزبدة يمكن أن تبقى صالحة لمدة طويلة .

عند صـنع دهن اللبن اللامائي عدم ثبات القشـدة عادة ما يحدث عند درجات حرارة عالية وبذلك نحصـل على زيت قشـدة يحتوي على قطرات بلازما ، عادة يتم فصـل كامل تقريبي داخل طبقتين في الحال . وهذا يمكن أيضـاً أن يحدث بواسـطة انصـهار الزبد . وبالتالي يحدث الفصل بواسطة التصفية أو بواسطة طرد مركزي كما يحدث عملياً . ولهذا الغرض نحتاج إلى فاصل خاص (عادة تمر البلازما مرة أخرى خلال فاصل قشدة عادي ، منتجاً كمية قليلة من القشدة) . يكون الدهن المتحصـل عليه بهذه الطريقة شـديد النقاوة ، إذا كانت درجة الحرارة أثناء الانصـهار والفصل ليست عالية جداً ، فسوف تكون خالية من الدهون القطبية .

طريقة أخرى للشـغل تعتمد على تبخير الماء بواسـطة معامل حرارية من الزبدة أو دهن القشـدة ، أو من منتجات وسطية ، مثل حبيبات الزبدة ، بالتناوب ، يمكن أن تسـتخدم القشـدة المغسولة . عندما يتم التبخير في وعاء مفتوح أي عند الضغط الجوي ، ترتفع درجة الحرارة إلى 120 درجة مئوية والمنتج يتم الحصول عليه بطريقة تشبه المتبع في تصنيع السمن . بالإضـافة إلى ذلك ، يمكن أن تجفف القشدة أو الزبدة في مبخر تحت تفريغ أو مجفف بالرذاذ . في جميع الحالات ، تترك المواد الصـلبة غير الدهنية منتشـرة في الدهن . ويمكن إزالة ذلك بواسـطة فصـل ، تشـريح أو طرد مركزي .

في بعض المناطق الاستوائية ، حيث تكون درجة الحرارة عالية جداً تصنع الزبدة دون تبريد في المبرد وبذلك يتكون السمن ، وخاصة في الهند . تقليدياً ، وهي تصنع من زبدة لبن الجاموس . هذا اللبن به كريات دهن كبيرة والتي تبدي تخثراً على البارد ، ولكن القشـدة تتكون بسـرعة كافية عند درجة حرارة عالية . يصبح المنتج أثناء التقشيد حامضياً . تقليدياً ، تسخن القشدة على النار (Open fire) حتى يغلي كل الماء ، وتزال الأجسـام الصـلبة المترسـبة بواسـطة التصـفية

Decantation . بهذه الطريقة منتج بنكهة تقليدية وملمس طري محبب يتم الحصول عليه ، يتمتع بفترة صلاحية معقولة . حالياً ، ينتج السمن بواسطة طرق مختلفة ، من لبن الأبقار أو الجاموس . القشدة يمكن الحصول عليها بواسطة الفصل بالطرد المركزي ، من المحتمل أن يتبع بواسطة إضافة بادئ وعملية تخمر ، يستعمل الزبد أيضاً لتصنيع السمن . يمكن أن يتم التسخين لإزالة الماء بواسطة أجهزة عديدة . والمواد الصلبة عادة ما تزال بواسطة الترشيح .

إن دهن اللبن المصنع بواسطة العمليات السابق ذكرها عادة ما يحتوي على 04% ماء . بالتبريد ، تتكون القطرات (ذوبانية الماء في دهن اللبن هي 0.1 ، 0.2 ، و0.4% عند درجة حرارة 10 و40 و90 مئوية على الترتيب) ، يمكن أن يفسد المنتج بسرعة . وعلى ذلك ، عادة ما يستخدم التجفيف تحت الفراغ مثلاً عند درجة 40 مئوية ، وضغط قدره 2 KPa (= 0.02 بار) . ويؤدي هذا إلى نقص محتوى الماء إلى تحت 0.1% . أيضاً ، يقل المحتوى من الأكسجين معنوياً . يمكن أن يكون منتج صنع بهذه الطريقة صالحاً للاستهلاك لبعض سنوات إذا صنع من لبن بدون أكسدة ذاتية أولية وإذا خزن بعيداً عن الهواء والضوء وإذا تم منع التلوث بالنحاس كلية .

2.5.18 تحورات دهن اللبن *Modification of Milk Fat*

التحور المستخدم بصورة واسعة هو التجزئة Fractionation بواسطة التبلور . بعد تصلب دهن اللبن عند درجة حرارة معينة بطريقة ما لتكوين بلورات كبيرة ، يمكن أن يفصل الدهن ميكانيكياً إلى جزء صلب وسائل . الغرض من ذلك هو الحصول على أجزاء لها سلوك انصهار مختلف . يتغير التكوين أيضاً (إن مكونات الدهن الذائب مثل الكاروتينويدات ، الفيتامينات ، ومركبات النكهة ، تصبح مركزة في الجزء السائل ، وطبقاً لذلك تبقى ظاهرة كجزء صلب يمكن اعتباره دهناً صلباً .

إن نجاح جزء مفرد يكون أقل من المتوقع ، يكون الفصل غير كامل (انظر شكل A17.18) لأن الشبكة المكونة من بلورات صغيرة تستبقي الدهن السائل ولكي يتم التأكد فإننا نحاول أن نكون بلورات كبيرة بواسطة تبريد الدهن ببطء شديد . وهذا يمكن أن يسبب تكون كريات صغيرة . الكريات الصغيرة Spherulites هي بلورات كروية الشكل ، ولكن تتكون من

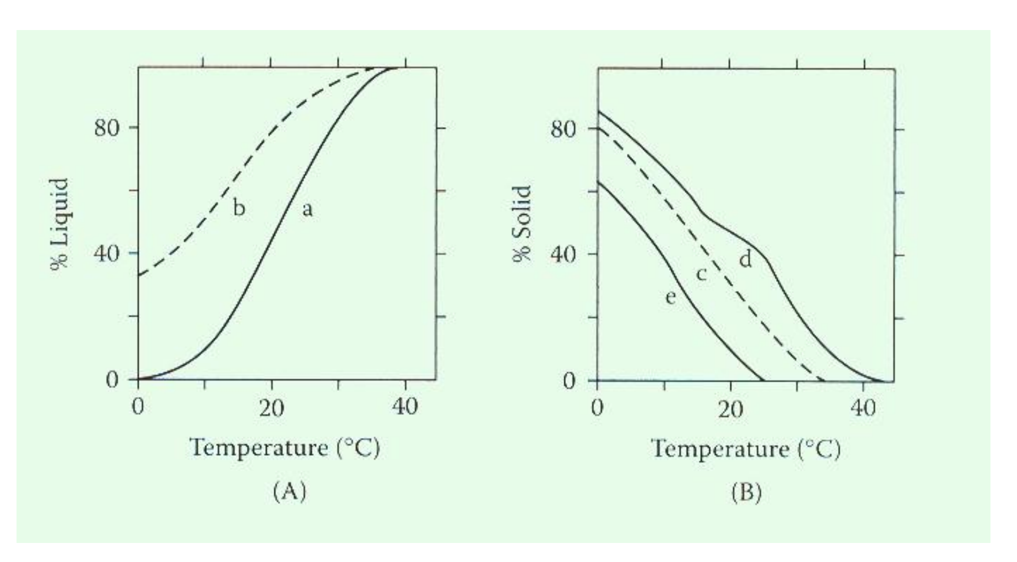
أعداد كبيرة من إبر شعاعية متفرعة ، تحصر بينها دهناً سائلاً . يمكن أن تنجز تجزئة جيدة بالحصول على بلورات الدهن من الأسـيتون ، ولكن هذه الطريقة مكلفة ، بالإضـافة إلى أن المنتج الناتج لا يسمح به كطعام .

بالإضـــافة إلى ذلك ، فإن الفرق في منحنيات الانصـــهار للأجزاء المختلفة مخيبة للآمال (شكل B17.18) . وهذا يجب أن يعزى جزئياً إلى الميل القوي لدهن اللبن لتكوين بلورات مركبة . يمكن أن يعطي التجزئة في خطوات ، مع تنظيم طريقة الفصـــل والوصـــول بها إلى الطريقة المثلى ، نتائج أفضـــل ، بالرغم من أنه يســـتغرق وقتاً طويلاً (عدة أيام قليلة) . أجزاء دهن اللبن عادة ما تستخدم في التطبيق ، خاصة لجعل الزبدة أكثر قابلية للفرد والانتشار .

يمكن أن يحور دهن اللبن كيميائياً أيضـــاً ، ولكن المنتجات لا يمكن تســـميتها دهن لبن . تقلل الهدرجة Hydrogenation (باســـتخدام غاز الهيدروجين وعامل مســـاعد Catalyst عند درجة حرارة عالية) عدد الروابط المزدوجة وبذلك تزيد نســـبة انصـــهار الدهن العالية ، ولذلك تسـمى هذه العملية التصـلب Hardening . وتسـبب أيضـاً عدة تغيرات أخرى . مثل زحزحة الروابط المزدوجة المتبقية والأيســـومرية ســـيس cis– ترانس trans (المتجازئ ، مؤلف من ذرات متماثلة النوع والعدد ولكنها مختلفة من حيث الترتيب والخصـــائص) . الهدرجة يمكن استخدامها لعمل بديل لزبدة الكاكاو من دهن اللبن . تسبب الأسترة البينية Interestrification توزيع بقايا الحامض الدهني فوق مواقع جزيئات الجليسريدات الثلاثية لكي تصبح عشوائية بشكل واسع . ويمكن تحقيق ذلك بتسخين الدهن في وجود العامل المساعد مثل ميثوكسيد الصوديوم (في درجة حرارة عالية ولنقل 150 درجة مئوية . ويحدث أيضـاً بدون عامل مســاعد) . بعد الأســترة البينية ، ينحرف مدى انصهار دهن اللبن لدرجات أعلى . تحدث تأثيرات مشابهة على الأسومرية trans- cis . لا شـــيء من هذه التحورات الكيميائية يســتخدم على دهن اللبن على المســتوى التجاري .

3.5.18 زبدة معاد تكوينها *Recombined Butter*

يمكن أن يعاد تكوين دهن اللبن واللبن الفرز لكي ننتج منتجاً يشبه الزبدة . تكون عملية التصـــنيع المســـتخدمة والتركيب الفيزيائي للمنتج متطابقين عملياً للموجود في المارجارين . يكون الفرق في المكون .



شكل 17.18 أمثلة لتجزئة دهن اللبن (A) كمية الدهن السائل التي فصلت كدالة على درجة حرارة التصلب المستخدمة (منحنى a) ، بالمقارنة مع كمية الدهن السائل الموجودة في الدهن (المنحنى B) . نسبة الدهن الصلب كدالة على درجة حرارة الانصهار المطبقة . المحتويات الصلبة للأجزاء الجامدة (منحنى d) والسائلة (منحنى e) ، التي تم الحصول عليها بعملية تجزئة عند درجة حرارة 25 مئوية ، مقارنة بالدهن الأصلي (منحنى C)

Figure 18.17 Examples of fractionation of milk fat. (A) Amount of liquid fat that was separated as a function of the solidification temperature applied (curve a), in comparison with the amount of liquid fat actually present in the fat (curve b). (B) The percentage of solid fat as a function of the melting temperature applied. The solid contents of the 'solid' (curve d) and the 'liquid' (curve e) fractions, obtained by fractionation at 25°C, are compared with the original fat (curve c)

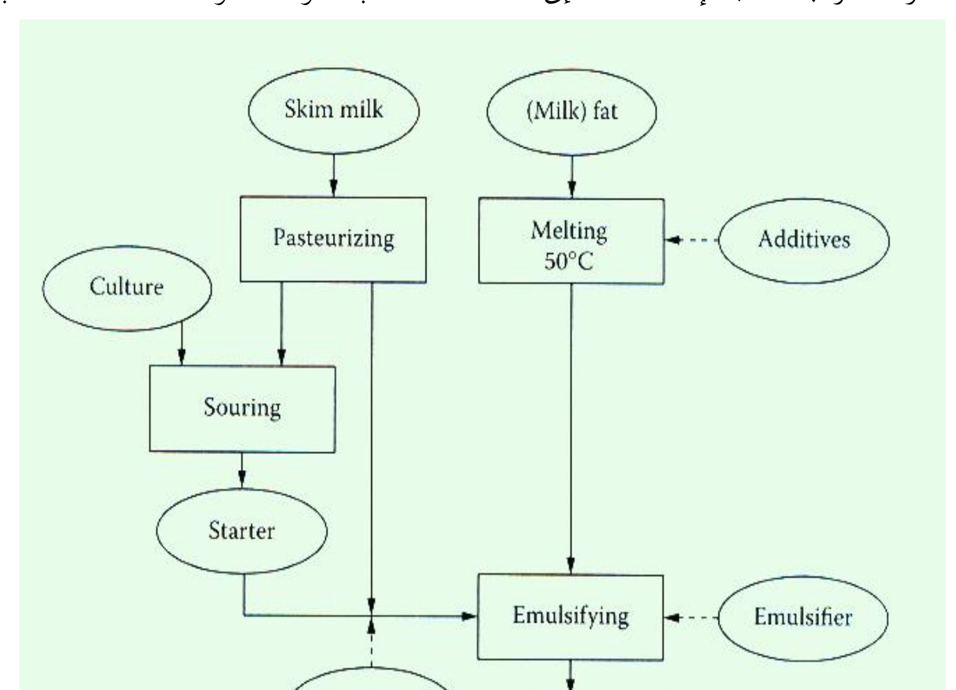
هناك عيب هو أن الزبد المعاد تكوينه يكون أصلب من الزبد الطبيعي لنفس مكون الدهن ، يكون الملمس مختلفاً قليلاً أيضاً . وذلك لأن المنتج لا يحتوي على كريات الدهن ، لدرجة أن كل

بلورات الدهن يمكن أن تشارك في الشبكات والتراكيب الصلبة . ونتيجة لذلك، يجب أن تضبط الصلابة بطرق مختلفة ، عادة عن طريق تركيب الدهن . يجب أن تكون نقطة انصهار الدهن النهائية تحت درجة حرارة الجسم لأن الزبدة يجب أن تنصهر بالكامل في الفم . إذا تذبذبت درجة الحرارة بشكل واسع ، يتكون الملمس الخشن بصورة فورية ، نتيجة لأن بلورات الدهن تصبح كبيرة جداً .

مخطط مبسط لعملية التصنيع تم توضيحه في شكل 18.18 . في إنتاج المارجارين ، يتعرض الدهن المستخدم لمعاملات مختلفة تشمل إزالة الصمغ Degumming ، تكرير القلوي ، التبييض ، إزالة الرائحة ، الهدرجة الجزئية .

إن معاملة الحالة السائلة عادة تمنع النكهة الجيدة وتحسن المحافظة على النوعية (تمنع الفساد بواسطة الكائنات الدقيقة ، الليبيز ، ... الخ) . عادة ، في إنتاج الزبدة المعاد تكوينها ، نادراً ما تستخدم مواد مضافة ، بينما يمكن أن يحتوي المارجارين على مضادات أكسدة بمواد منشطة Synergist أو بدونها ، مواد ملونة ، إضافة فيتامينات A وD ، عوامل منكهة ذائبة في الدهن ، ومواد مكونة للمستحلب .

يستخدم تكون المستحلب للحصول على مخلوط مجنس ذا مكون ثابت . ليس المستحلب ماء/زيت ثابتاً ، ويجب أن يقلب السائل في كل الأوقات حتى تتكون بلورات دهن . تؤدي البلورات إلى ثبات القطرات الرطبة لأنها يحدث لها ادمصاص على السطح البيني (pickering stabilization) . المواد المكونة للمستحلب (في المارجارين مثل الجليسريدات الأحادية وليستيني فول الصويا Lecithin) تستخدم أغراض أخرى . الجليسريدات الأحادية يبدو أنها تمنع بلورات الدهن من تكون الندف بقوة داخل الشبكة والتي يمكن أن يحدث لها ادمصاص غير كافٍ على القطرات الرطبة . بالإضافة إلى ذلك ، تلعب المواد المكونة للمستحلب



شكل 18.18 مثال لتصنيع الزبد المعاد تكوينه (أو المارجارين)

Figure 18.18 Example of the manufacture of recombined butter (or margarine)

دوراً ثنائياً أثناء تسخين المنتج في وعاء القلي . نتيجة لانصهار الدهن ، فإن القطرات الرطبة تصبح غير ثابتة ، وإذا انسـابت بسـرعة معاً داخل قطرات كبيرة ، هذه يمكن أن تبدأ بالتسـاقط كقطرات

مزعجة عندما تصل لنقطة الغليان . توضح المواد المكونة للمستحلب هذا الالتحام . بالإضافة إلى ذلك ، يساهم ليسيثين في النكهة المميزة أثناء القلي . وعلى ذلك ، في حالة الزبدة المعاد تكوينها وجزء من اللبن الفرز غالباً ما يستبدل بلبن زبدة القشدة الحلوة ، في هذه الطريقة، يصبح المكون قريب الشبه من مكون الزبد الطبيعي .

إن التبريد عادة ما يؤدي في سطح مخدوش لمبادل حراري ، وإلا انتقال الحرارة سوف يتم ببطء شديد ، مسبباً تكون بلورات كبيرة . نتيجة للخدش والتقليب . القطرات الرطبة التي تكون مازالت ذات حجم قدره واحد مليمتر أثناء الاستحلاب ، يتم تمزيقها إلى قطرات أصغر . يحدث انخفاض زائد بالشغل ، والذي تتكون بدفع الكتلة من خلال فتحة صغيرة (صمام) أو قرص مثقب (انظر تحت فصل 3.2.18) .

يعمل الشغل أيضاً على تحطيم تراكيب بلورات الدهن . يجب أن تتكون عند ذلك هذه التراكيب ، وهذا يعني أن أغلب البلورة يجب أن تكون قد حدثت فعلاً . وهذا يتم انجازه بالمرور خلال اسطوانة التبلور (الوحدة B) قبل بداية الشغل . بالإضافة إلى ذلك يتبلور دهن اللبن ببطء شديد وطبقاً لذلك ، يكون غير ممكن أن ننجز بلورة كاملة في خطوة تصنيعية واحدة (كما هو شائع في تصنيع المارجارين) . وبالتالي ، يمكن أن تظل الزبدة موجودة بعد التصنيع . يجب أن يتم التبريد عادة أثناء التبلور مرة ثانية . إذا تبلور 20% من الدهن ، فإن حرارة التبلور كافية لزيادة درجة حرارة التوليفة Blend بثمانية درجات .

4.5.18 منتجات الزبدة منخفضة الدهن ***Low- Fat Butter Products***

منتجات الزبد منخفضة الدهن موجودة منذ فترة طويلة (من بداية أربعينات القرن الماضي (1940s) ، ولكن زاد الاهتمام بها مجدداً بعد نجاح المارجارين منخفض الدهن . هذه المفرودات Spreads بها محتوى مائي قدره 40% . وهناك أيضاً مفرودات تحتوي جزئياً على دهن نباتي وهذه أفضل للصحة من الزبدة لبعض الناس .

تصنيع زبدة قليلة الدهن يتم انجازه بواسطة المخض ، لأن تكون منتج ذا حالة مائية غير مستمر قد فشل . أغلب المواد نشطة السطح في القشدة هي قابلة للذوبان في الماء ، وهذا يمنع تكون المستحلب زيت/ماء W/O emulsion . (فقط عند محتوى دهني عالٍ جداً وفي وجود بلورات دهن هو نوع من انقلاب حالة محتمل Phase inversion من القشدة إلى الزبدة . انصهار البلورات تفقد ثبات أي مستحلب W/O متكون وينتج عن ذلك تكون طبقة مائية مستمرة) .

في إنتاج الزبدة ، عملية التصنيع مقارنة بما تم توضيحه في شكل 18.18 يجب استخدامها ، وأن مادة مساعدة للاستحلاب يجب إضافتها (أي مذيبة للزيت) . ويمكن أن تكون هناك مشكلة لعمل قطرات رطبة صغيرة كافية وتمنعها من الالتحام في المنتج ، خاصة عند درجات حرارة عالية . وعلى ذلك ، يمكن أن يضاف عامل مكون للهلام Gelling agent (مثل الجيلاتين). وتسبب في أن تصبح القطرات شبه صلبة ، غير قادرة على الالتحام . على الأقل ، يجب أن يضاف عامل مسبب للسماكة Thickening agent للحالة المائية . وهذا يمكن أن يكون مخلوطاً بروتينياً ، مثل بروتين المصل الذي تم تجبنه لينتج تجمعات ذات حجم قدره حوالي ميكرومتر واحد . يسبب العامل نكهة وإحساساً في الفم للمنتج مشابهاً للزبدة . ويمكن أن يضاف مواد مسببة للنكهة وكذلك البادئ البكتيري المكون للنكهة . ليس هناك استحسان مشترك للنكهة المميزة لتلك الزبدة . يمكن أن يكون واحد من الجوانب المشتركة احتواء المنتج على دهن متبلر أقل من الزبدة وعلى ذلك نشعر به أقل برودة في الفم .

الانتشار أو الفرد Spreadability ليست عادة مشكلة ، ومع ذلك ، إذا كانت الزبدة ذات محتوى دهن سائل عالٍ ، يمكن أن تكون أكثر نعومة ، وفي درجة حرارة الغرفة ، يمكن أن لا تحتفظ بشكلها ويبدأ الزيت في الخروج . يمكن أن يحتوي منتج به عدد صغير من بلورات الدهن على قطرات رطبة كبيرة ، والتي يمكن أن تسبب تلوثاً ميكروبياً سريعاً (تحت فصل 3.2.18) . يمكن إضافة مادة حافظة .

تقنية بديلة لتصـنيع زبدة قليلة الدهن يتم بواسـطتها دمج مادة سـائلة لزجة (مثل محلول كازينات مبسـتر) داخل زبد طبيعي . يقول بعض المؤلفون أن بهذه الطريقة يتكون جهاز بيولوجي مسـتمر Biocontinuous System . وعلى أية حال ، يحتاج إلى مادة حافظة ، وهذا صـحيح بالتأكيد لانتشـار النوع زيت/ماء o/w type ، وخاصـة زبدة الدهن التي قد تحولت إلى منتج قابل للانتشـار أو الفرد باسـتخدام عوامل مثخنة تزيد من السـمك وعوامل مكونة للهلام . طبيعياً ، يكون سـلوك العوامل أو المواد الأخيرة مختلفاً عن القشـدة الطبيعية . فمثلاً ، سـوف تهاجر الرطوبة المحتوية داخل الخبز الذي فُردت عليه . ومن الواضـح أن عمل زبدة منخفضـة الدهن ذات نوعية جيدة ليس سهلاً بالمرة .

مراجع مقترحة ***Suggested Literature***

هناك مراجع حديثة قليلة عن تصنيع وخواص الزبدة . معلومات عامة ومكثفة :

H. Pointurier and J. Adda, Beurrerie Industrielle: Science et Technique de la Fabrication du Beure, La Maison Rustique, Paris, 1969.

الجوانب الفسيوكيميائية للمخض (الخض) ، الزبدة ، دهن اللبن اللامائي :

H. Mulder and P. Walstra, The Milk Fat Globule, Pudoc, Wageningen, 1974.

معلومات إضافية :

Chapter 4 (Physical chemistry of milk fat globules) and chapter 5 (crystallization and rheological properties of milk fat) of P.F. Fox, Ed., Advanced Dairy Chemistry; Vol.2, Lipids, 2nd ed., chapman and Hall. London, 1995.

19 الألبان المركزة Concentrated Milks

19. الألبان المركزة *Concentrated Milks*

الألبـان المركزة هي لبن ســـائل محفوظ ، بمحتوى مـائي منخفض للغـايـة . يزال المـاء بـالتبخير . يتم الحفظ إمـا بـالتعقيـم Sterilization ، ويؤدي ذلـك إلى منتج يســـمى لبن مبخر Evaporated milk ، أو بواسطة خلق الظروف التي لا تسمح بنمو الكائنات الدقيقة . وتتحقق الأخيرة بإضافة كميات كبيرة من السكروز واستبعاد الأكسجين . يسمى المنتج الناتج اللبن المكثف Condensed milk (المحلى) .

تستخدم هذه المنتجات في مناطق (عادة استوائية) يكون اللبن غير متوفر أو من الصعب الحصـول عليه . تعبأ الألبان في علب صـغيرة Small cans . المحتويات غالباً ما تخفف بالماء قبل الاسـتهلاك ليشـبه اللبن العادي . يمكن أن تسـتخدم منتجات بديلة عادة ، مثل مسـحوق اللبن الكامل أو اللبن المعاد تكوينه Recombined Milk . بالنسـبة للألبان المركزة ، بعض الأشـكال البديلة المستخدمة تم تطويرها ، وتصنيعها وتعليبها ثم تطويرها . وانخفض كثيراً استهلاك اللبن المركز المحلى .

1.19 اللبن المبخر *Evaporated Milk*

اللبن المبخر هو لبن مجنس ، مركز ، معقم . يمكن أن يحفظ المنتج بدون تبريد وله وقت صـــلاحية طويل ، وهو آمن تماماً للمســـتهلك . بعد التخفيف ، النكهة والقيمة الغذائية للمنتج لا تتغير كثيراً عن اللبن الطازج . مشـــكلة كبيرة مع التعقيم هي الثبات الحراري . كلما ازداد تركيز اللبن ، تقل الثباتية . ولذلك السبب لا يمكن أن يزداد التركيز عن 2.6 مرة ، والذي يعادل مستوى 22% مواد صلبة غير دهنية في اللبن المبخر .

يستخدم حالياً اللبن المبخر المعبأ في زجاجات في عمل القهوة في بلاد معينة . ويمكن أن يضاف بارداً لأن كمية صغيرة تستخدم مقارنة باللبن غير المبخر . بعد فتح زجاجة اللبن ، يمكن للبن أن يحفظ في المبرد لمدة عشرة أيام لأنه في البداية لا يحتوي على بكتيريا إطلاقاً ولأن البكتيريا الملوثة تنمو ببطء نتيجة للنشاط المائي المنخفض ، والذي يبلغ حوالي 0.98 .

جدول 1.19 يوضح مكونات بعض أنواع من اللبن المبخر واللبن الفرز .

جدول 1.19 المكونات التقريبية لبعض أنواع اللبن المبخر

Table 19.1 Approximate Composition of Some Kinds of Evaporated Milk

النوع Type	نسبة الدهن Fat (%)	المواد الصلبة غير الدهنية Solids-Not-Fat (%)	معامل التركيز Concentration Factor
اللبن المبخر ، المقياس الأمريكي Evaporated milk, American standard	7.8	18.1	2.1
اللبن المبخر ، المقياس البريطاني Evaporatd milk, British standard	9	22	2.6
اللبن المبخر منخفض الدهن Low-fat evaporated milk	4	20	2.25
اللبن الفرز المبخر Evaporated skim milk	0.1	22	2.35

1.1.19 التصنيع *Manufacture*

يوضح شكل 1.19 عمليات تصنيع اللبن الكامل المبخر المعقم بمعاملة حرارية فائقة UHT والمعقم في زجاجات . عدة تغيرات تكون ممكنة . بعض خطوات العملية تم مناقشتها بالتفصيل في النص التالي .

يزيد التسخين المسبق Preheating الثبات الحراري للبن المبخر ، ويثبط الإنزيمات ويقتل الكائنات الدقيقة ، شاملة نسبة معنوية لجراثيم بكتيرية موجودة . علاقة وقت حرارة التسخين

يتم اختيارها على أساس الثبات الحراري . أولاً ، عادة ما تستخدم معاملة حرارية طويلة ، أي 20 دقيقة عند درجة حرارة تحت 100 درجة مئوية . المعاملة الحرارية الفائقة عادة ما تفضل . فهي تخفض عدد الجراثيم في اللبن بصورة ملموسة ، وعلى ذلك ، فإن تعقيماً أقل شدة يكون كافياً .

التركيز Concentrating يركز اللبن عادة بالتبخير (انظر فصل 2.10) . التقييس إلى محتوى مادة جافة مرغوب فيه يكون له اهتمام كبير . يعطي تركيز أعلى ، إنتاجاً منخفضاً ضعيف الثبات الحراري . عادة ما يستخدم تقييس مستمر عن طريق تعيين كثافة الكتلة . اعتماداً على هذا المقياس ، إما أن يتم ضبط مصدر اللبن الخام أو مصدر البخار . ومن الواضح أن الكثافة ومحتوى المادة الجافة للبن الخام يجب أن يعرف . وبالتالي ، يمكن أن يعتمد التقييس على تحديد معامل الانكسار . يمكن أن يركز اللبن بواسطة الأسموزية العكسية . ولكن هذه الطريقة نادراً ما تستخدم . بعد التركيز ، تختلف عمليات تصنيع اللبن المعقم في زجاجات واللبن المبخر والمعقم بمعاملة حرارية فائقة. العملية الأولى يتم مناقشتها أولاً .

التجنيس يعمل على منع التقشيد والالتحام . ويجب ألا يكون شديداً للغاية لأن الثبات الحراري يصبح منخفضاً .

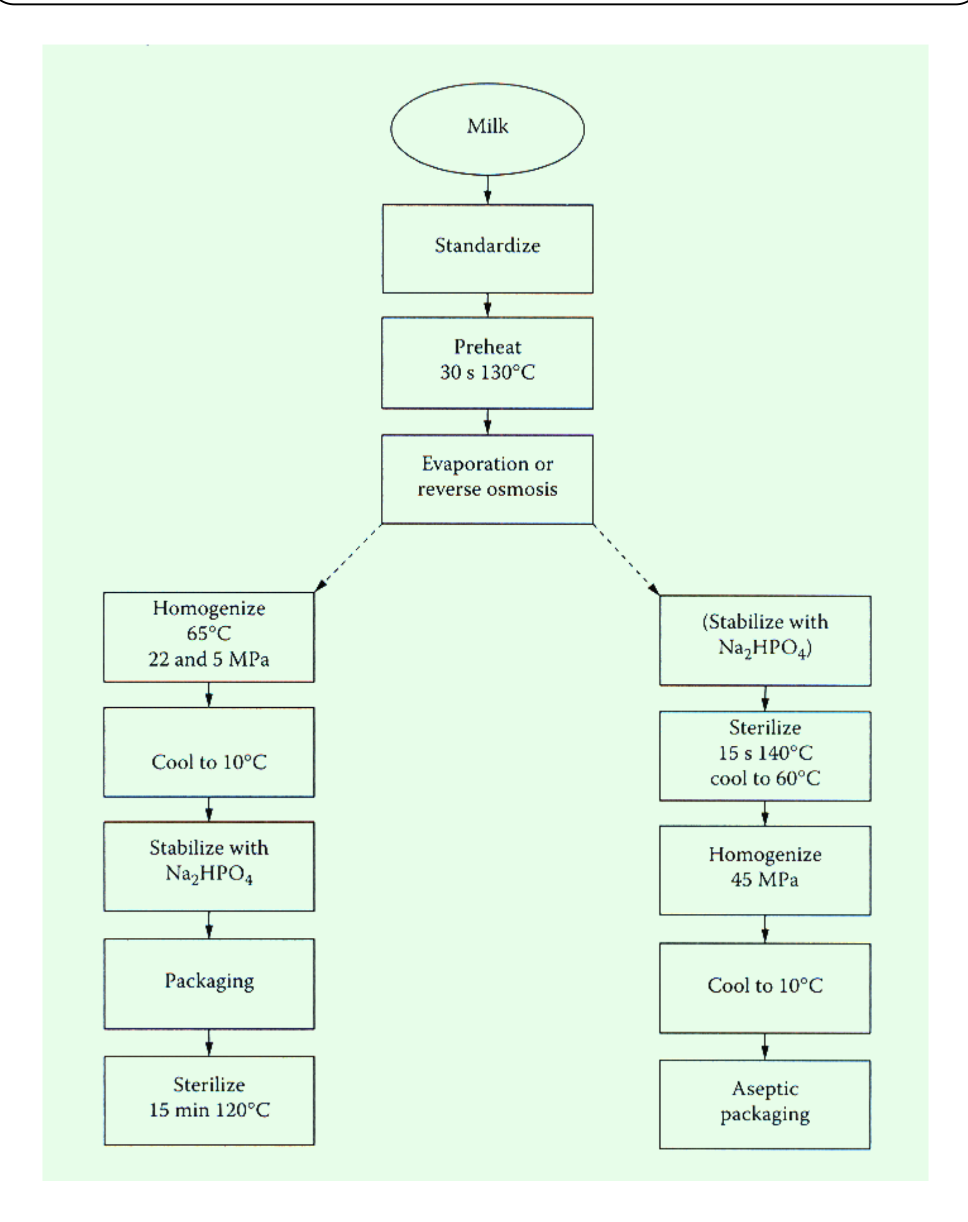
التثبيت Stabilization . ولكي نتأكد من أن اللبن المبخر ، والمجنس لن يتجبن أثناء التعقيم وفي نفس الوقت تحافظ على اللزوجة المطلوبة ، تجرى سلسلة من عمليات التعقيم بكميات صغيرة للبن المبخر والتي يضاف إليها كميات متغيرة من ملح التثبيت (Na_2HPO_4) . تكون هذه العمليات في حاجة إليها لأن تغييراً يحدث بين دفعات Batches اللبن . ومن الضروري أن نعلم أن إضافة الملح تعني ضبط الأس الهيدروجيني pH (انظر تحت فصل 3.1.19) . لأن العمليات الإضافية يجب أن تتوقف حتى تتضح نتائج هذه العمليات ، وهذا يتطلب عملية تبريد للبن المبخر بعد تجنيسه وتخزينه لفترة . ومع ذلك ، ويجب أن يتم تجنب التخزين طويل الأجل لكي نمنع النمو البكتيري ، بالإضافة إلى ذلك ، يزيد الحفظ البارد للبن القابلية للزيادة في السمك بزيادة فترة

التخزين (انظر تحت فصل 5.1.19) . يضاف ملح التثبيت كمحلول مائي ، والذي يخفف اللبن ثم يعاد معايرته لمحتوى المادة الصلبة الصحيح أثناء التثبيت .

التعبئة في علب تكون شائعة . تغلف العلبة بالقصدير (مزودة بطبقة للحماية من بوليمر مناسب) لكي تمنع الحديد والقصدير من الذوبان في المنتج . تغلق العلبة بعد التعبئة ، بعملية لحام . يفضل القفل الميكانيكي عادة . ويعبأ اللبن المبخر المعد للاستخدام في القهوة في زجاجات مقفلة بواسطة سدادة قمية من الفلين أو غطاء قلاووظ Screw cap .

التعقيم Sterilization في زجاجات أو في علب ، يمكن أن يستخدم على دفعات (في معقم Outoclave) أو باستمرار . الآلات التي لها محابس هواء دوارة (لكي نحافظ على الضغط) يمكن أن تستخدم للعلب والمعقمات الهيدروستاتيكية (انظر شكل 21.7) .

يهدف التعقيم لقتل جميع جراثيم البكتيريا– انخفاض إلى 10^{-8} جرثومة لكل ميليلتر– وتثبيط البلازمين . الليبيز والبروتيناز من البكتريا المحبة للبرد يجب أن تغيب من اللبن الخام لأن هذه الإنزيمات قد تثبط بطريقة غير كافية . أغلب الجراثيم المقاومة للحرارة هي للبكتيريا باسيليس ستيروثيرموفيليس *Bacillus sterothermophilus* . هذه البكتيريا لا تنمو عند درجات حرارة متوسطة ولكن يمكن أن تنمو في البلدان الاستوائية . عند درجة حرارة 121 درجة مئوية ، قيمة D للجراثيم هي من 4 إلى 7 دقائق . عملية التسخين المسبق تم توضيحها في شكل 1.19 وهي كافية للتأثير المعقم S وغالباً ما تساوي 1 ، حيث أن التعقيم يعطي s غالباً ما تساوي 3 في الغالب . وعلى ذلك تضاف معاً لتعطي s أقل من أو يساوي 4 . وسوف يكون التلوث بهذه الجراثيم أقل ، ونمو الكائنات الذي يحدث في المبخر ، من المحتمل أن يتبع بالتجرثم Sporulation (أي أثناء التخزين البارد المتوسط) ، والتي يجب تجنبها بشدة (انظر أيضاً فصل 3.20). إذا كان التأثير المعقم كافياً للبكتيريا باسيلس ستيروثيرموفيليس ، ثم باسيلس سيبتيليس *B. subtilis* ، كلوستريديم بوتيلينيوم *Clostridum botulinum* ، وكلوستريديم بيرفرينجيس *C. perfringens* . تكون غائبة أيضاً (انظر جدول 4.7) .



شكل 1.19 أمثلة لتصنيع اللبن المعقم في زجاجات (على اليسار) واللبن الكامل المبخر المعقم بطريقة الحرارة الفائقة (على اليمين)

Figure 19.1 Examples of the manufacture of in-bottle-sterilized (left) and UHT-sterilized (right) evaporated whole milk

يقتل التعقيم بالمعاملة الحرارية الفائقة جراثيم البكتيريا بفاعليات أكثر . من التعقيم في زجاجات . يكفي الجمع بين التسخين المسبق والمعاملة الحرارية الفائقة للمركزات كما هو موضح في شكل 1.19 لتثبيط البلازمين . ونكون أيضاً في حاجة إلى التسخين المسبق لمنع التجبن الحراري الزائد في وانسداد معقم المعاملة الحرارية الفائقة . يخدم بعض التجبن بالحرارة دائماً ، والتجنيس التالي أيضاً إنقاص حجم التجمعات البروتينية المتكونة . يجب أن يستخدم التجنيس المعقم . التعقيم بالمعاملة الحرارية الفائقة UHT غير المباشر في مبادل حراري أنبوبي يسمح لمضخة المجنس أن تثبت قبل المسخن وصمام التجنيس خلفها . وعلى ذلك ، فإن التلوث بالبكتيريا يقل للغاية ، أو الكمية التي تضاف ليست حدية لدرجة أن تجارب التعقيم يجب أن تجرى . ويقتضي هذا أن عملية التسخين المسبق كلها شاملة التعبئة المعقمة يمكن أن تتم بدون انقطاع . التعبئة المعقمة ومواد التعبئة المناسبة تم مناقشتها في فصل 15 .

إعادة الجمع Recombination . تصنيع اللبن المبخر بواسطة إعادة التكوين تم توضيحه باختصار في شكل 2.19 . يجب أن يستجيب مسحوق اللبن الفرز المستخدم لاشتراطات صارمة . يجب أن يصنع المسحوق من اللبن الفرز الذي يسخن بشدة (لمدة دقيقة واحدة عند 130 درجة مئوية) لدرجة أن اللبن المركز المعاد تكوينه بعد تجنيسه يكون ثابتاً حرارياً بصورة كافية .

يجب أن يكون العد البكتيري لجراثيم النوع باسيلس ستيروثيرموفيليس *B.* stearothermophilus منخفضاً لدرجة أن التعقيم المتوسط للبن المبخر يكفي . يتم في بعض الأوقات ، استبدال 10% من مسحوق اللبن الفرز بواسطة مسحوق اللبن زبد القشدة المحلى لتحسين نكهة المنتج . النحاس ومحتوى البيروكسيد لدهن اللبن اللامائي يجب أن يكون منخفضاً لتجنب تدهور النكهة . يمكن أن يسبب مستوى مرتفع من الكالسيوم في الماء المستخدم مشاكل مع الثبات الحراري . " يُصنع اللبن المبخر المزود Filled evaporated milk" أيضاً . يستخدم دهناً مختلفاً عن دهن اللبن .

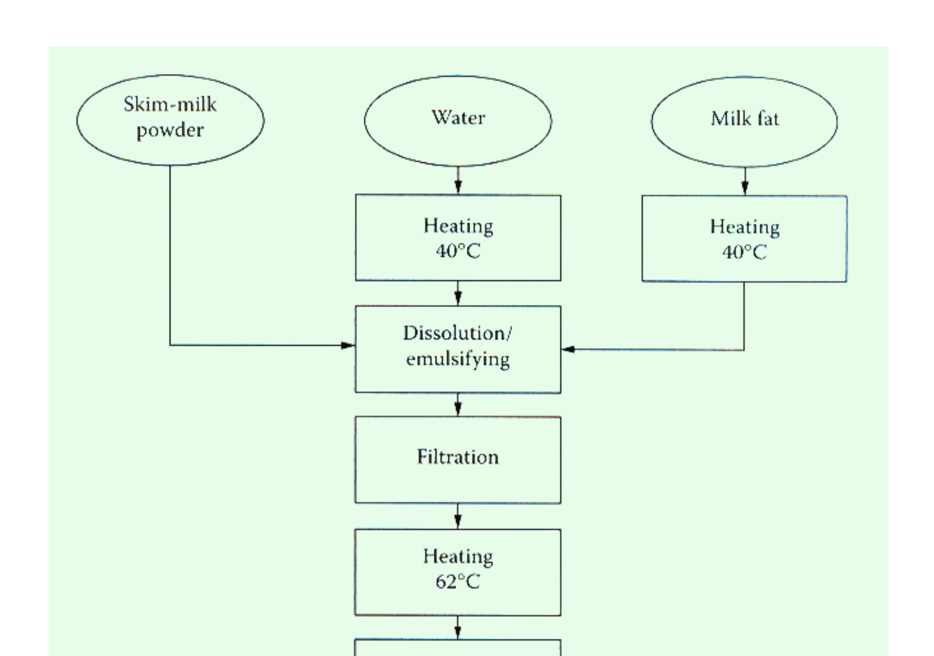
2.1.19 خواص المنتج ***Product Properties***

إن لتفاعلات ميلارد Muillard reactions أهمية قصوى للون ونكهة اللبن المبخر . ومن الواضح أن درجة الحرارة ومدة المعاملة الحرارية أثناء التصنيع تحدد التركيز الابتدائي لمنتجات التفاعل ، ولكن تفاعلات ميلارد تحدث أثناء التخزين ، خاصة عند درجة حرارة عالية (انظر شكل 3.19) . يكون اللبن نكهة مثل رائحة البول Stale flavor نتيجة لتفاعلات ميللارد أيضاً . تختلف النكهة بعد فترة طويلة من الوقت بشكل ملحوظ عن تلك النكهة الناتجة عن التسخين الشديد . وسبب ذلك تؤدي مجموعة معقدة من التفاعلات إلى متنجات تفاعل مختلفة عند درجات حرارة مختلفة . يمكن تمييز نكهات لبن معقم بواسطة بعض الناس عندما يستخدم اللبن مع القهوة . يجب ألا توجد النكهة غير المرغوبة الناتجة عن الأكسدة الذاتية .

عندما يستخدم اللبن في القهوة ، يكون اللون البني مرغوب عادة لمنع القهوة من اتخاذ اللون الرمادي . يعتمد اللون البني كثيراً على تفاعلات ميلارد ، بالرغم من أن لون الدهن يلعب دوراً هاماً .

تعتبر لزوجة اللبن المبخر عادة علامة نوعية هامة . كثير من المستهلكين يفضلون لزوجة اللبن . وهذا يمكن أن يتحقق بواسطة التعقيم بطريقة تمنع التجبن الحراري المرئي . يكون اللبن المبخر بالمعاملة الحرارية الفائقة دائماً أقل لزوجة وعلى ذلك ، يضاف الكابا كاراجينان K- carrageenan (انظر تحت فصل 4.1.19) .

إذا احتوى اللبن الأصلي على إنزيمات الليبيز والبروتينيز البكتيري نتيجة لنمو البكتيريا المحبة للبرد ، يمكن أن تبقى هذه الإنزيمات نشطة في اللبن المبخر والتي تؤدي إلى الفساد القوي ، أي نكهات صابونية مزنخة ومُرة ، ويصبح قوامه خفيفاً عند التخزين . يمكن أن يصبح اللبن الفرز المبخر شفافاً إلى حد ما نتيجة لنشاط البروتينيز .



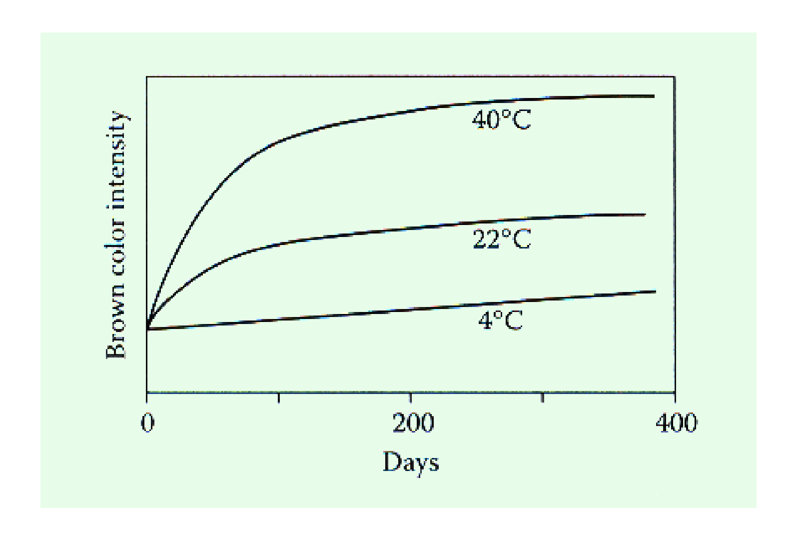
شكل 2.19 مثال لتصنيع اللبن المبخر المعاد جمعه

Figure 19.2 Example of the manufacture of recombined evaporated milk

يمكن أن تنخفض القيمة الغذائية للبن المبخر إذا ما قورنت بقيمة اللبن الكامل . يمكن أن ندمر في أوعية التعقيم 10% من الليســـين المتواجد ، وحوالي نصـــف فيتامينات B_1 ، B_{12} و C ، ونســـبة صـــغيرة من فيتامين B_6 وحامض الفوليك . تقل كل هذه التغيرات عندما نطبق المعاملة الحرارية الفائقة .

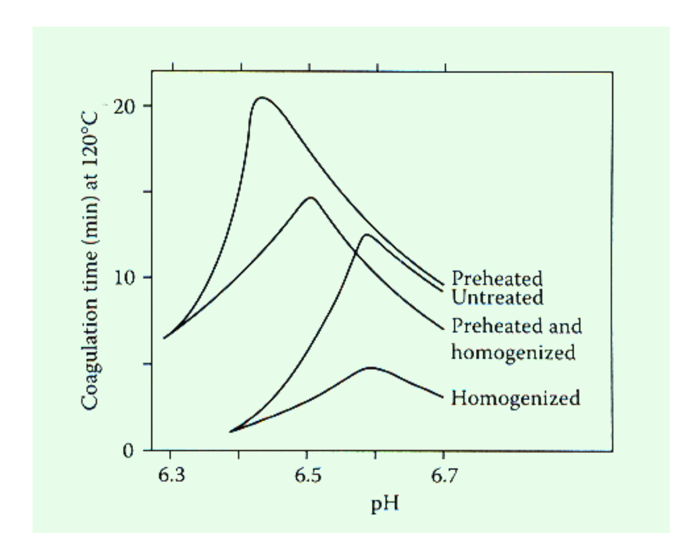
3.1.19 الثبات الحراري *Heat Stability*

ميكانيكيات التجبن الحراري للبن والعوامل المؤثرة على وقت التجبن الحراري (HCT) تم مناقشتها في تحت فصل 4.2.7 . وكما ذكر سابقاً ، فإن اللبن المركز يكون أقل ثباتاً أثناء التعقيم من اللبن غير المبخر وأن التجنيس الشـــديد يقلل الثبات الحراري . بالإضـــافة إلى ذلك ، يجب أن يزيد اللبن المبخر في اللزوجة أثناء التعقيم . تزداد اللزوجة في الأساس ، بواسطة التجبن الابتدائي . تكون عمليات دقيقة مثلى مطلوبة لكي نوفي هذه الاحتياجات .



شكل 3.19

Figure 19.3 Browning (arbitrary units) during storage of evaporated milk at various temperature. (Adapted from S. Patton, *J. Dairy Sci*., 35, 1053, 1952)



شـكل 4.19 تأثير التسـخين المسـبق والتجنيس على الثبات الحراري للبن المبخر (المقياس الإنجليزي) كدالة على أسـه الهيدروجيني (مقاسة عند درجة حرارة الغرفة قبل التجنيس) . أمثلة تقريبية

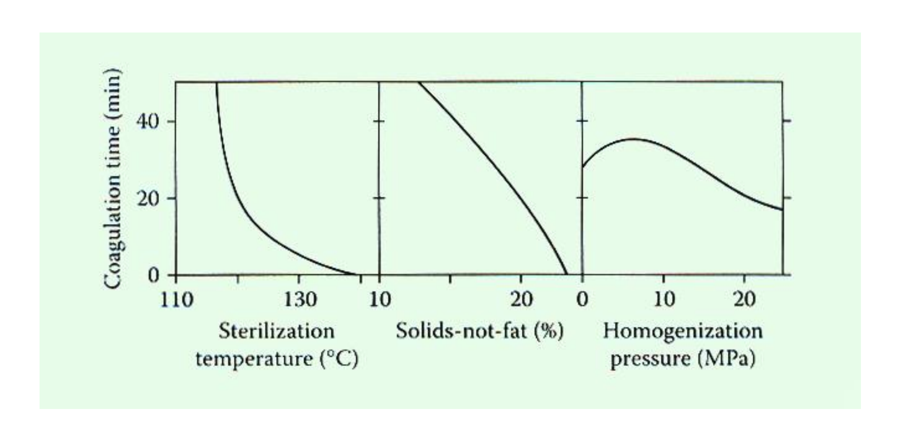
Figure 19.4 Influence of preheating and homogenization on the heat stability of evaporated milk (British standard) as a function of its pH (measured at room temperature before sterilization). Approximate examples

وعلى أي حال ، يجب أن يسـخن اللبن مسـبقاً قبل عملية التبخير بطريقة ما بحيث أن أغلب بروتينات المصـل يحدث لها دنترة (انظر شـكل E9.7) . وإلا ، يكون اللبن المبخر هلام أثناء التعقيم نتيجة لتركيز البروتينات العالية في المصـل . يكون التسـخين المسـبق لمدة 3 دقائق عند درجة حرارة 120 مئوية . يوضـح شـكل 4.19 التأثير المعنوي للتسـخين المسبق .

يجب أن يضبط الأس الهيدروجيني ، التسخين المسبق ويخفض التبخير الأس الهيدروجيني إلى حوالي 6.2 (المقياس الأمريكي) أو 6.1 (المقياس الإنجليزي) ويكون أقل من الأس الهيدروجيني الأمثل . في التطبيق يضـاف عادة $Na_2HPO_4 / 2H_2O$ ولكن هيدروكسـيد الصـوديوم يمكن أن يستخدم أيضاً .

تأثير التجنيس تم توضيحه في شكل 4.19 (انظر أيضاً فصل 9.6) . تختلف تأثير بعض المتغيرات مثل درجة حرارة التجنيس عن الزبدة المعقمة (تحت فصل 2.1.17) . لا يؤدي تجنيس اللبن المبخر إلى تكون عناقيد مجنسة . وغالباً ما يلاحظ أن تجنيساً خفيفاً يزيد المعاملة الحرارية الفائقة HCT (شكل 5.19) . ولعل سبب ذلك لا يمكن شرحه بسهولة .

شكل 5.19 يلخص التأثير التقريبي لبعض المتغيرات على الثبات الحراري . من الواضح أن التسخين بالمعاملة الحرارية الفائقة للبن المبخر بعد التجنيس لا يكون ممكناً . حتى التعقيم التقليدي يكون صعباً إذا كان اللبن عالي التركيز أو إذا كان اللبن المبخر مجنساً بشدة . هناك بعض العوامل الأخرى المؤثرة على الثبات الحراري . ويمكن أن يتحسن بخفض محتوى الكالسيوم المؤثرة على الثبات الحراري . ويمكن أن يتحسن بخفض محتوى الكالسيوم في اللبن قبل التبخير بواسطة المبادل الأيوني . إضافة 15 مليمول mmol من H_2O_2 (0.05%) أو حوالي 15 ميكرومول Cu^{2+} (من 0.5 إلى 1 مليجرام$^{-1}$ kg) بعد التسخين المسبق ولكن قبل التبخير تميل لزيادة الثبات الحراري .



شكل 5.19 الثبات الحراري مقاس عند 120 درجة مئوية (إلا إذا ذكر خلاف ذلك) وعند الأس الهيدروجيني الأمثل للبن المبخر المجنس السابق تسخينه . أمثلة تقريبية لتأثير بعض المتغيرات

Figure 19.5 Heat stability measured at 120°C (unless otherwise stated) and at the optimum pH of preheated homogenized evaporated milk. Approximate examples of the influence of some variables

4.1.19 تكون القشدة (التقشيد) *Creaming*

يؤدي تقشيد اللبن المبخر حتماً إلى تكوين سدادة قشدة صلبة والتي لا تستطيع أن يعاد انتشارها . وهذا يمكن أن يكون نتيجة لتكون جسور بين كريات الدهن المتجاورة . ويسبب "التحام fusion" شظايا جسيمات الكازين في طبقة السطح . وطبقاً لذلك يكون التجنيس الشديد ضرورياً .

يمكن أن تكون الطبقات السطحية حديثة التكوين أثناء التجنيس سميكة . يترك التسخين المسبق بشدة أي بروتينات مصل ذائبة ، وتزيد خطوات التبخير والتعقيم متوسط قطر جسيمات الكازين . خاصة بعد التجنيس عند ضغط عال ، ودرجة حرارة منخفضة ، يمكن أن تكون الطبقات سميكة بدرجة كافية للكريات الأصغر والتي يكون لها كثافة أعلى من البلازما ، وبالتالي ، وتستقر أكثر من القشدة . ونتيجة لذلك ، المحتوى الدهني للبن المبخر في كل من طبقات القاع والقمة للعليا والتي خُزنت بدون إزعاج لعدة أشهر غالباً ما توجد أعلى من ما في الوسط .

إن لزوجة عالية للبن المبخر عادة ما تستخدم تقشيداً منخفضاً ، ولكن العلاقات ليست مباشرة . لكي نبدأ ، لزوجة حالة البلازما وليس لزوجة المنتج ، هي التي تحدد معدل التقشيد . عامة ، اللزوجة العالية هي نتيجة للوصول للتجبن الحراري . تميل كريات الدهن المجنسة إلى المشاركة في التجبن الحراري . وبذلك تكون عناقيد ، والتي سوف تكون القشدة بسرعة . في الحقيقة ، مقاييس إبطال التجبن الحراري هي إضافة آثار من النحاس (تحت فصل 3.1.19) ، عادة ما تؤدي إلى خفض تكون القشدة ، بالرغم من اللزوجة المنخفضة الناتجة من هذه الإضافات . وفي حالات كثيرة ، فإن تكوين القشدة في اللبن المبخر تمت دراستها بصورة غير كافية . يمكن أن تعتمد كثافة البلازما بقوة على معدل الشير shear rate . كما هو موضح بواسطة المنحنى 2 في شكل 6.4 (ولو أن اللبن المبخر ، وليس البلازما الذي يبدي سماكة بزيادة مدة التخزين) . القيم للبلازما عند معدلات شير منخفضة جداً وثيق الصلة بالتقشيد ، للجزء الأكبر بين 0.01 و0.1 Pa.s عادة لا تعرض معدلات التقشيد كما هو موضح في جدول 3.9 يمكن أن تتفق تقريباً مع القيم المشاهدة .

في اللبن المبخر المعقم بالمعاملة الحرارية الفائقة UHT ، تكون لزوجة البلازما منخفضة نسبياً مع إهمال السماكة بزيادة مدة التخزين ، ويميل التقشيد إلى أن يكون أكثر سرعة . وعلى ذلك تضاف كابا كارراجينان عادة لخفض معدل التقشيد .

وكما ذكر سابقاً ، للتجنيس تأثير معاكس على الثبات الحراري وبالتالي ، لا يمكن أن يكون ضغط التجنيس عالياً . وكريات الدهن الكبيرة هي التي تحدث التقشيد ، وعلى ذلك ينصح أن يكون لها عرض نسبي (C_s) لتوزيع حجم الكرية أصغر ما يمكن . يتأثر العرض كثيراً بواسطة نوع المجنس المستخدم . غالباً ما يستخدم مجنس ذو مرحلتين ، ولكن تأثيره على C_s يمكن إهماله (لا يحتاج هذا النوع من التجنيس لتكسير عناقيد التجنيس لأن هذه العناقيد لا تتكون) . التجنيس مرتان لا يؤدي إلى خفض C_s . وبالتالي ، اللبن المبخر المجنس يمكن أن يفصل بواسطة الطرد المركزي وتستنفد كريات الدهن الأكبر . يمكن أن تضاف القشدة التي يتم الحصول عليها إلى المركز غير المجنس . يمكن أن يجنس اللبن المبخر المعامل بالحرارة الفائقة بشدة لأن التعقيم يسبق التجنيس . يكون التجنيس الشديد مطلوباً لمنع التقشيد الزائد لأن لزوجة حالة البلازما تكون أكثر انخفاضاً من في اللبن المبخر التقليدي .

5.1.19 السماكة بزيادة مدة التخزين وتكون الهلام *Age Thickening and Gelation*

عندما نحفظ اللبن المبخر ، فإن لزوجته يمكن أن تنخفض قليلاً في البداية (شكل 6.19). هذا يمكن شرحه بأن جسيمات الكازين تتجمع (يتكون أثناء التعقيم) يتغير من شكل غير منتظم إلى شكل دائري كنتيجة لنقص كسر الحجم الفعلي ، انظر 7.19 التغير من المرحلة A إلى المرحلة B . وبالتالي تميل اللزوجة إلى زيادة وتكون معتمدة بقوة على معدل الشير ، كما هو موضح في باب 4 ، شكل 6.4 ، منحنى 2 . حالما يتعرض اللبن للضغط ، ويتكون الهلام الذي يتصلب بسرعة . الميكانيكية المستخدمة ليست تامة الوضوح . في أغلب الحالات ، تكون الهلام لا يكون سببه الإنزيمات المحللة للبروتين ، أو تفاعلات ميلارد المسئولة ، بالرغم من أن الأخيرة توازي تكون

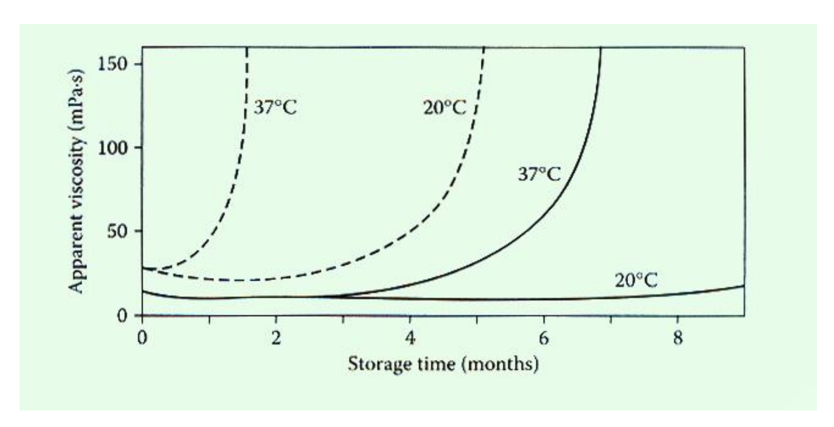
الهلام . بالإضافة إلى ذلك ، تكون الهلام ليس له علاقة بالتجبن الحراري . مثلاً ، لا يعتمد معنوياً على الأس الهيدروجيني ، ومعدله يزداد ولكنه يقل بعد انخفاض المحتوى من الكالسيوم . أوضح الميكروسكوب الالكتروني أن بروزات شبيهة بالخيوط تظهر على جسيمات الكازين والتي تكون شبكة . وهذا موضح في شكل 7.19 ، المراحل C وD . من المحتمل أن تغير بطيء في فوسفات كالسيوم الجسيمات يكون على الأقل مسئول عن التغيرات المشاهدة ، ولكن تفسيراً محدداً مازال غير واضح .

السماكة بزيادة مدة التخزين وتكون الهلام يميلان للحدوث أسرع في اللبن المبخر المعامل بالحرارة الفائقة . التي يمكن أن تكون نتيجة للتحلل البروتيني بإنزيمات أطلقتها البكتيريا المحبة للبرد ، ولكن أيضاً إذا كانت هذه الإنزيمات غائبة ، فإن تكون الهلام السريع يحدث .
تعقيم شديد بعد التبخير يؤخر تكون الهلام . يكون تكون الهلام أسرع في اللبن الأكثر تركيزاً (انظر شكل C10.10) وعند درجة حرارة تخزين أعلى (شكل 6.19) . يؤخر إضافة صوديوم عديد الفوسفات (حوالي 0.4% من المادة الجافة) تكون الهلام بصورة ملحوظة ، كلما ارتفعت الكتلة المولارية للفوسفات ، كلما كانت أكثر فاعلية . إضافة السترات أو الأورثو فوسفات عادة ما تسرع تكوين الهلام ، نتيجة لربط الكالسيوم . يمكن أن تتحلل الفوسفات العديدة لتعطي أورثو فوسفات ، خاصة أثناء التسخين . وبالتالي إضافة الفوسفات العديدة لا يمنع تكون الهلام في اللبن المبخر المعقم في زجاجات ، بالعكس .

اللبن المبخر التقليدي يكون الهلام فقط إذا حفظ لمدة طويلة عند درجة حرارة عالية (كما في المناطق الاستوائية) . تحدث تفاعلات ميلارد الشديدة أيضاً . تكون الهلام السريع يمكن أن يحدث ، إلا أن ، إذا حفظ اللبن المبخر قبل تعقيمه في المبرد عند درجة 4 درجة مئوية لمدة عدة أيام .

تماماً ، يمكن أن تتخذ إجراءات كافية لتأخير تكون الهلام في اللبن المبخر لمدة معتبرة . يمكن أن يفحص تكون الهلام بواسطة تعليق عليه من اللبن المبخر في سلك ملتوي والتأكد من أن

اللبن له خواص مرنة . إذا حدث ذلك ، فإن العلبة ســوف تبقى متذبذبة لفترة عندما تعطي لفة ثم تطلق .



شكل 6.19 السماكة بزيادة مدة تخزين اللبن المبخر عند درجتي حرارة . أمثلة تقديرية للبن المبخر المعامل بحرارة فائقة . عند إضافة عديد الفوسفات (–) أو بدون إضافة (–––) ، اللزوجة المتحصل عليها عند معدل شير عالي (10< ثانية$^{-1}$) . نتائج تقريبية عن مصادر مختلفة

Figure 19.6 Age thickening of evaporated milk at two temperatures. Approximate examples for UHT-evaporated milk. Polyphosphate added (–) or not added (---). Viscosities obtained at high shear rate (> 10 s^{-1}). Approximate results after various sources

2.19 اللبن المكثف المحلى *Sweetened Condensed Milk*

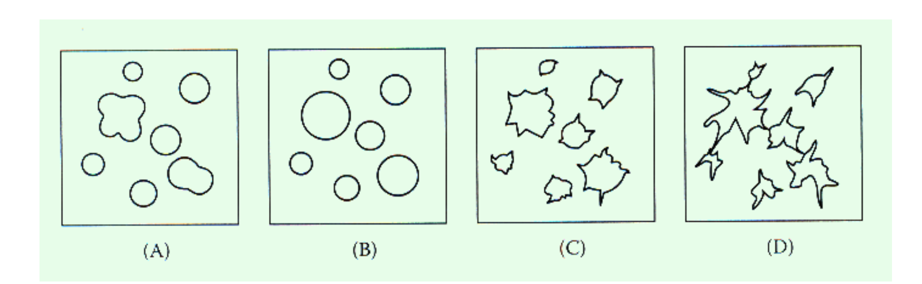
اللبن المكثف المحلى هو لبن مركز بـالتبخير والـذي يضـــاف إليـه الســـكروز ليكون محلولاً سكرياً مشبعاً ، بعدها يعلب في علب . يكون تركيز السكر العالي مسئولاً عن الحفاظ على نوعية المنتج وعن وقت الصلاحية الطويل حتى بعد أن تفتح العلبة ، بالرغم من أنه سوف يصبح به فطر .

يعطي جدول 2.19 تركيزات لنوعين من اللبن المكثف المحلى . يصـــنع لبن الفرز المكثف المحلى أيضــاً . يكون اللبن عال التركيز : تتراوح نســبة تركيز الكتلة Q بين 4.6 إلى 5 ، والزيادة في

التركيز بالنسـبة للماء Q^* هي من 7.3 إلى 8.5 . وبسـبب هذا والمحتوى العالي للسـكر ، يكون المنتج عالي اللزوجة ، أي أن η تكون 2 باسـكال.ثانية تقريباً ، حوالي 1000 مرة لزوجة اللبن . يكون المنتج زجاجي المظهر في بعض الأحيان كريات الدهن تظهر بعثرة أو تشتيتاً قليل للضوء لأن معامل انكسـار الحالة المسـتمرة Continuous phase تكون مسـاوية تقريباً للدهن . ترجع عكارة المنتج إلى بلورات اللاكتوز . تكون أغلب بلورات اللاكتوز فوق التشـبع Supersaturetion (انظر تحت فصل 2.2.19) .

1.2.19 التصنيع *Manufacture*

شـكل 8.19 هو شـكل تخطيطي لعملية تصـنيع اللبن المركز المحلى . خطوات العملية تم مناقشتها باختصار في النص التالي :



شكل 7.19 صورة تخطيطية للتغيرات التي شوهدت في جسيمات الكازين للبن المبخر أثناء التخزين . اللزوجة الظاهرة تكون في أدنى قيمة في المرحلة B

Figure 19.7 Schematic picture of the change observed in the casein micelles of evaporated milk during storage. The apparent viscosity is at minimum in stage B.

التسـخين Heating : يجب أن تقتل الكائنات الممرضـة والكائنات المؤدية لفسـاد اللبن. من بين الإنزيمات ، يجب أن يثبط أولاً ليبيز اللبن ، الليبيز البكتيري لا يثبط ، وإذا كان موجوداً ، فإنه يمكن أن يسـبب تزنخاً شـديداً . لم يسـجل التدهور الذي تسـببه إنزيمات البروتينيز . تؤثر شـدة التسـخين

على اللزوجة وأيضــاً على الســماكة بزيادة مدة التخزين وتكون الهلام للمنتج ، لدرجة أن المعاملة الحرارية الفعلى يجب أن يتم ضــبطها مع هذه الخواص . معاملة حرارية فائقة عند 130 إلى 140 درجة مئوية هي الشائع استخدامها .

التجنيس Homogenization : التقشـيد عادة ليس مشـكلة أسـاسـية ، وعلى ذلك التجنيس ليس دائم الحدوث . ولو أن اللبن المركز المحلى يكون أقل لزوجة (وأقل سماكة) من الألبان الســابقة التحضــير . يكون الفرق في اللزوجة بين كريات الدهن والحالة المســتمرة كبيراً ، أكثر من 400 كيلوجرام.m^{-3} ، للزوجة الحالة المســتمرة 1 s.Pa ، يكون معدل التقشــيد حوالي 1% من الدهن لكل يوم . وهذا مرتفع للغاية ، وعلى ذلك فإن التجنيس عادة ما يتم تحت ضــغط منخفض أي من 2 إلى 6 MPa .

جدول 2.19 المكونات التقريبية لنوعين من اللبن المركز المحلى

Table 19.2 Approximate Compositions of Two Kinds of Sweetened Condensed Milk

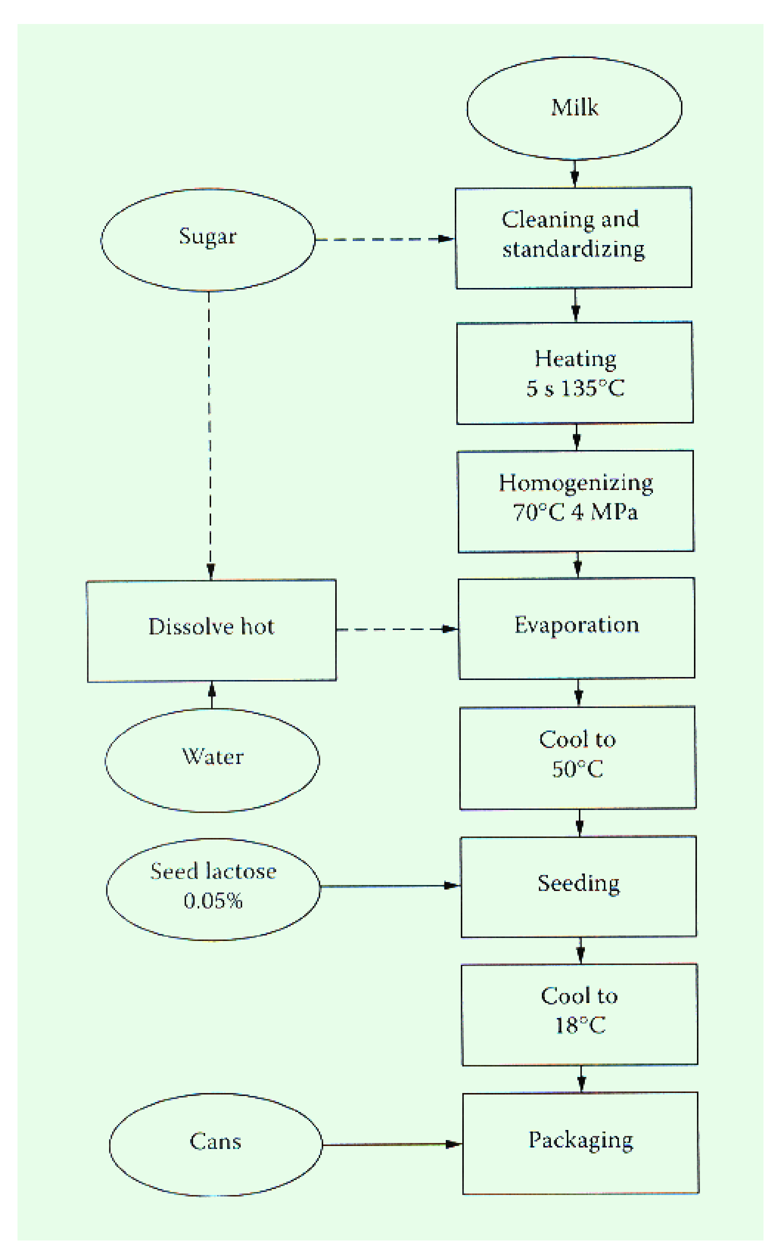
	المقياس الأمريكي American Standard	المقياس الإنجليزي British Standard
نسبة المحتوى الدهني Fat content (%)	8	9
نسبة المواد الصلبة اللبنية غير الدهنية Milk solids-not-fat (%)	20	22
نسبة اللاكتوز Lactose (%)	10.3	11.4
نسبة السكروز Sucrose (%)	45	43.5
نسبة الماء Water (%)	27	25.5
اللاكتوز/100 جرام ماء Lactose/100 g water (g)	38.3	44.6
سكروز/100 جرام ماء Sucrose/100 g water (g)	167	171
عامل التركيز Concentration factor Q	4.60	5.00

السكر وهذا يمكن إضافته ببساطة إلى اللبن الأصلي . يمكن أن تضبط الكمية المضافة ، والسكر يتم بسترته مع اللبن . ولو أن هذا المخطط يسبب تفاعلات ميلارد شديدة أثناء التسخين والتبخير ، وفوق ذلك ، تسريع للسماكة بزيادة مدة التخزين . وبالمقابل ، محلول سكري مركز ، والذي يجب أن يعامل حرارياً بشدة لكي تقتل أي خمائر تضاف في نهاية خطوة التبخير . السكر يجب تنقيته وأن يكون خالياً من السكر المتحول ليمنع تفاعلات ميلارد الشديدة .

التركيز Concentration وهذا يتم بواسطة التبخير . يستخدم في هذا الغرض مبخر غشاء ساقط A falling- film evaporator لكي يزيل حجم الماء ومبخر دوار لكي يزيل المتبقي . عادة ما تستخدم درجات حرارة عالية نسبياً (حتى 80 درجة مئوية) ، والتيتيقتضي لزوجة منخفضة في المبخر ولكن لزوجة ابتدائية عالية للمنتج المبرد النهائي . يقتضي محتوى الماء المنخفض للبن المركز المحلى لزوجة ونقطة انصهار عالية . التبخير بماكينات مستمرة بتأثيرات كثيرة وعلى ذلك فهي ليست سهلة .

الخبث Fouling يتكون في الحال . من الصعب أن نضبط المحتوى المائي المطلوب ، بواسطة جهاز لقياس معامل الانكسار .

التبريد والبذر Cooling and Seeding تكون بلورات اللاكتوز في هذه الخطوة ، كبيرة يجب أن يتم تجنبه . وبالتالي تضاف بلورات (بذور Seeds) اللاكتوز . وقبل ذلك يجب تبريد اللبن المركز إلى درجة حرارة عندها يكون اللاكتوز فوق مشبع لدرجة أن حبات اللاكتوز لا تذوب . إلا أن درجة الحرارة يجب ألا تكون منخفضة لكي يمكن حدوث التنوية الفورية قبل خلط بذور البلورات . بعد عملية البذر ، التبريد يجب أن يستمر لكي يتبلور اللاكتوز .



شكل 8.19 مثال لتصنيع اللبن المكثف المحلى

Figure 19.8 Example of the manufacture of sweetened condensed milk

التعبئة Packaging : التعبئة في علب يكون شـــائعاً . تغطى العلب بغطاء وتلحم ليتم الغلق . تعبأ العلب والأغطية أولاً بواســـطة اللهب . تزود حجرة التعبئة بمنقي هواء من خلال مرشـــحات بكتيرية .

2.2.19 المحافظة على الجودة *Keeping Quality*

1.2.2.19 الفساد الميكروبي *Microbial Spoilage*

اللبن المكثف المحلى غير معقم . ويحتوي على ميكروبات وجراثيم حية . يثبط النشـــاط المائي المنخفض (حوالي 0.83) أو حتى المحتوى الســـكري العالي أغلب وليس كل الكائنات الدقيقة . يحدث التدهور عادة بواســـطة الخمائر المحبة للحرارة ، ينتمي أغلبها إلى الجنس *Torulopsis* . الخمائر غالباً ما تسـبب تكون الغازات ، ونكهة الفاكهة ، وتجبن البروتين . يمكن أن يكون سـبب التجبن إنتاج الإيثانول ، وكنتيجة لذلك ، يصبح المنتج غير مقبول . تبدأ الخمائر النمو بسـهولة ، خاصـة إذا كان تركيز السـكر عالياً . وهذا يمكن أن يسـتغرق عدة أسـابيع لنمو ابتدائي لكي يمكن إدراكه .

يمكن أن تنمو بعض البكتيريا مثل Micrococci في اللبن المكثف المحلى ، ولكن النمو بطيء ، خاصـة إذا كان المحتوى المائي ودرجة الحرارة عالية . ومع افتراض ، أن وجود الأكســـجين ضرورة . ويمكن أن يحدث نمو لهذه البكتيريا لكي تصل إلى عد بكتيري يصل إلى 10^5 مليلتر$^{-1}$ ثم يقف النمو ، دون أن يسبب عيوباً .

ملحوظة . إذا اســتمرت هذه البكتيريا في النمو ، فإن أشــكالاً من التجبن والنكهات العديدة غير المرغوبة تتكون .

تسـتطيع بعض الفطريات وخاصـة السـلالة أسـبيرجيللس ريبينز *Aspergillus repens* وأســـبيرجيللس جلاكيس *A. glaucus* النمو طالما وجد الأكســـجين . وإذا حدث ذلك فإن تجمعات ملونة ونكهات غير مرغوبة تتكون . ويمكن أن تســـبب جرثومة واحدة في فقاعة هوائية واحدة مثل هذا التجمع .

علاجات واضحة للفساد الميكروبي شاملة قتل جميع البكتيريا المتغذية على المواد المتحللة وجراثيم الفطريات في اللبن وفي السكر . لا تستطيع الجراثيم البكتيرية التجرثم في اللبن المكثف المحلى . يجب أن يتم تجنب نمو الكائنات الدقيقة الضارة في المزارع اللبنية بشدة . ويجب ألا تبقى أي بقايا لبنية وسكر في هذه المصانع . يجب أن تطبق اشتراطات صحية صارمة. خاصة في حجرة التعبئة . لا تستطيع الكائنات الدقيقة الضارة النمو أثناء التركيز ، ولكن الآلات يجب أن تكون نظيفة ، يمكن أن تزال بعد التبخير مباشرة جراثيم الفطريات بواسطة الترشيح الهوائي .

يجب أن تعبأ آلات التعبئة العلب بدقة تامة بحدود أمان واحد جرام . وجود لبن مكثف قليل في العلبة يعني أن هواءً كثيراً يبقى ، ويزيد هذا من فرص نمو الفطريات والبكتيريا . إذا كانت العلبة معبأة أكثر من اللازم ، فإن اللبن يمكن أن يفسد ويشجع نمو الخمائر المحبة للحرارة .

2.2.2.19 تغيرات كيميائية *Chemical Changes*

التغير الأساسي في اللبن المكثف المحلى أثناء التخزين هو السماكة بزيادة مدة التخزين وفي النهاية تكون الهلام (انظر تحت فصل 5.1.19) اللبن المكثف المحلى هو أكثر تركيزاً من اللبن المبخر . ولكنه لا يزيد سماكته بسرعة مع زيادة مدة التخزين . ولقد افترض أن إضافة السكروز يثبط تكون السماكة نتيجة للتخزين ، سكريات أخرى أو هيكسيتولز hexitols له تأثير مشابه. يزيد السكروز نشاط أيونات الكالسيوم Ca^{2+} . اختلاف مع اللبن المبخر هو أن انخفاض ابتدائي للزوجة قبل حدوث السماكة نتيجة للتخزين لم يتم ملاحظته . تزداد اللزوجة خطياً مع الوقت .

التالي هو العوامل الرئيسية المؤثرة في حدوث السماكة نتيجة لوقت التخزين :

1. نوع اللبن : الاختلافات– عادة موسمية– تحدث بين دفعات اللبن .
2. التسخين المسبق للبن : كلما زادت شدة المعاملة الحرارية ، كلما ارتفعت اللزوجة الابتدائية وتكون الهلام أسرع . ولذلك تستخدم عادة الآن المعاملة الحرارية الفائقة .
3. المرحلة التي يضاف فيها السكر : الأخيرة في عملية التبخير ، السماكة نتيجة لوقت التخزين تكون أقل ما يمكن .

4. عامل التركيز : كلما ارتفع عامل التركيز ، كلما زادت السـماكة بمرور وقت التخزين . وهذا يشـرح لماذا يكون اللبن المركز المحلى بالمقياس الإنجليزي الأسـرع سماكة بزيادة العمر عن ذلك بالمقياس الأمريكي .
5. الأملاح المثبتة : تختلف تأثير الأملاح المضـافة بشـكل واسـع وتعتمد مثلاً على المرحلة التي يضـاف عندها . تضـاف الأملاح حتى 0.2% . إضـافة كمية صـغيرة من صـوديوم رباعي الفوسـفات العديدة Sodium tetra polyphosphate (أي 0.03%) عادة ما تؤخر الزيادة في المسـك المرتبطة بعمر التخزين بصـورة ملموسـة ، وحيث تكون إضـافة كمية أكثر يمكن أن يكون لها تأثير عكسي .
6. درجة حرارة التخزين : تزداد السـماكة المرتبطة بعمر التخزين مع درجة حرارة التخزين ، $Q_{10} = 3.4$. تكون الهلام عند درجات الحرارة الاسـتوائية ، لا يمكن منع حدوثه في فترة سـنة واحدة .

حدوث تفاعلات ميلارد لا يمكن تجنبها : يكون اللون البني أقوى عندما تكون درجة حرارة التخزين أعلى . يتبخر اللبن إلى تركيز أعلى ، ويستخدم التسـخين الشـديد . قد تحدث تفاعلات ميلارد إضافية إذا كان السكروز المضاف يحتوي على سكر متحول .

يمكن أن تحدث الأكسدة الذاتية للدهن لأن المنتج المعبأ يحتوي على أكسجين أقل ويمكن ألا يكون قد سـخن بطريقة غير كافية لمضـادات الأكسـدة أن تتكون . ومن الواضـح أن التلوث بالنحاس يجب تجنبه بشدة .

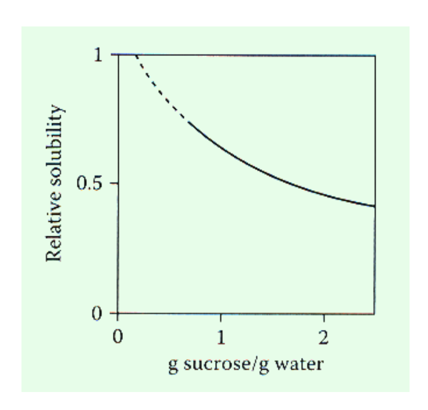
3.2.2.19 بلورات اللاكتوز *Lactose Crystals*

يحتوي اللبن المكثف المحلى على من 38 إلى 45 جرام لاكتوز لكل 100 جرام ماء ، كما هو موضح في جدول 2.19 . شكل 3.2 يبين أن ذوبان اللاكتوز في درجة حرارة الغرفة هو حوالي 20 جرام لكل 100 جرام ماء ، ولكن في اللبن المكثف المحلى الذوبان هو حوالي النصـف نتيجة وجود السـكروز (انظر شـكل 9.19) . وهذا يقتضـي أن 75% من اللاكتوز يحدث له بلورة ، أي أن حوالي 8 جرام لكل 100 جرام لبن مكثف محلى . ونتيجة للزوجة العالية ، سـوف تتكون نواة

البلورة ببطء وتتكون قليل من الأنوية فقط لكل وحدة حجم من اللبن ، مؤدية إلى تكون بلورات كبيرة .

دون احتياطات خاصـــة ، ســـوف يكتســـب المنتج كميات عالية نســـبياً من البلورات الكبيرة . تستمر هذه البلورات وهي المسئولة عن الإحساس الرملي في الفم ، وهي يمكن أن تكون كبيرة لدرجة أن تسبب إحساساً غير أملس Nonsmooth impression . ولكي نتجنب ذلك ، فيجب أن تكون البلورة أصغر من حوالي 8 ميكرومتر في الطول .

وطبقاً لذلك لا يمكن منع البلورة ، يجب أن يتكون عدد كبير من البلورات . نتائج مرضية يمكن أن نصـــل إليها باســـتخدام بذر حبات اللاكتوز . إضـــافة 0.03% بذرة اللاكتوز Seed lactose تمثل 0.004 مرة كمية اللاكتوز المتبلور . يجب ألا يزيد الحجم النهائي للبلورات في المنتج عن 8 ميكرومتر . وبالتالي ، سوف تحتوي بذرة اللاكتوز على بذرة بلورات كافية (واحدة لكل بلورة لكي تتكون) إذا كان حجم البلورة لا يتجاوز 1.25 ميكرومتر $(0.004 \times 8^3)^{1/3}$. يمكن عمل مثل هذه البلورة الرقيقة بواسطة الطحن الشديد لألفا هيدرات اللاكتوز $\alpha -$lactose hydrate .



شكل 9.19 تأثير السكروز على الذوبان النسبي للاكتوز (لكل وحدة كتلة من الماء) . نتائج تقريبية عند حوالي 40 درجة مئوية

Figure 19.9 Influence of sucrose on the relative solubility of lactose (per unit mass of water). Approximate results at about 40°C

مراجع مقترحة *Suggested Literature*

مرجع عام ، على مستوى تقديمي :

M. Carit. Concentrated and Dried Dairy Products, VCH, New York, 1994.

جوانب التجبن الحراري وتكون الهلام مع زيادة عمر التخزين :

P.F. Fox and P. Mc Sweerney, Eds., Advanced Dairy Chemistry, Vol. I. Proteins. 3rd ed. Kluwer Acedemiq New York, 2003, Chapter 19 (J.E.O' conell and P.F. Fox, Heat- induced coagulation) and Chapter 20 (J.A. Niwuwenhuijse and M.A.J.S van Bockel. Changes in sterilized milk products.

20 مسحوق اللبن *Milk Powder*

20 مسحوق اللبن *Milk Powder*

يناقش هذا الباب المساحيق المجففة بالرذاذ المصنوعة من اللبن الكامل ، اللبن الفرز ، وإلى حد ما ، الشرش . القواعد الأساسية للتبخير والتجفيف تم شرحها في باب 10 .

1.20 الأهداف *Objectives*

يمكن أن نعرف الأهداف التالية :

1. الغرض الأساسي لتصنيع مسحوق اللبن هو تحويل المادة الخام السائلة إلى منتج يمكن أن يخزن بدون فقد للنوعية ، صالح لعدة سنوات . يعني انخفاض النوعية تكون نكهات شمعية وصمغية (نتيجة للأكسدة الذاتية وتفاعلات ميلارد على الترتيب) ، ونقص القيمة الغذائية (خاصة نقص في الليسين المتاح) . إذا كان المحتوى المائي عالياً ودرجة حرارة التخزين عالية ، يمكن أن يحدث كتل كالكعكة (نتيجة لتبلور اللاكتوز) والتدهور نتيجة . للإنزيمات أو حتى الميكروبات ، إلا أن هذه المشاكل يتم تجنبها .
2. المسحوق يجب أن يكون سهل التداول يجب ألا يكون مثل الغبار أو ذو جزيئات ضخمة . ويجب أن يكون حر الانسياب بسهولة من فتحة ، ولا يلتصق بسطح العبوة أو الماكينة . يكون المطلب الأخير هاماً لاستخدام للمسحوق في ماكينات القهوة .
3. يجب أن يعاد تكون المسحوق بالكامل بعد إضافة الماء له ، ويكون مستعداً لتكون مخلوطاً متجانساً ، مشابهاً في مكوناتها للمنتج الأصلي . تعني إعادة التكوين الكامل أن أي قطع غير ذائبة أو رقائق لا تتبقى ولا تظهر حبيبات زبدة أو قطرات زيت فوق سطح السائل . "تعني إعادة التكون الجاهزة Readily constituted" أن أثناء خلط المسحوق والماء لا تتكون قطع

غير ذائبة . في الوضع المثالي ، سوف ينتشر المسحوق بسرعة عندما يقلب في الماء البارد ، ويسمى هذا المسحوق الجاهز Instant Powder . خطوات تحضير خاصة مطلوبة لإنجاز هذه الخاصية . تعتمد أهمية الخواص الجاهزة على نوعية التطبيق .

4. طبقاً للاستخدام المطلوب ، يجب أن يفي المنتج المعاد تكوينه بالاحتياجات الخاصة . إذا كان الاستخدام هو لبن شرب ، يكون غياب النكهة المطبوخة هاماً للغاية . إذا كان الاستخدام لعمل الجبن ، فإن اللبن يجب أن يكون له خاصية التكتل . إذا استخدم لعمل لبن مبخر معاد جمعه ، فإن ثباتاً حرارياً مرضياً يكون غاية في الأهمية . وعلى ذلك هناك احتياجات عديدة متضاربة لا يمكن إعادة التوفيق بينها في مسحوق واحد . فمثلاً ، ليس من الممكن عمل مسحوق لبن كامل ليس له نكهة مطبوخة وفي نفس الوقت لا تتكون نكهة مؤكسدة أثناء فترة التخزين . بالنسبة لشدة المعاملة الحرارية ، تصنف مساحيق الألبان كمنخفضة ، أو متوسطة أو عالية الحرارة (تحت فصل 4.6.20) .

5. يجب أن يكون المنتج خالياً من المخاطر الصحية والمواد السامة أو الكائنات المسببة للأمراض . بجانب ذلك إتباع إجراءات صحة عامة والتأكد من الموجود في صناعة الألبان ، هناك بعض الاعتبارات الخاصة الأخرى .

تم توضيح المكونات التقريبية لبعض أنواع من المساحيق في جدول 1.20 . هناك أنواع أخرى من المساحيق مثل مسحوق الزبدة ، مسحوق المثلوج اللبني ، وصفات لبن الرضع من الأنواع المختلفة ، بدائل لبن العجل وغير ذلك . كل هذه المنتجات لها اعتبارات خاصة .

ولأن مكونات المادة الخام تختلف ، فإن تركيب المساحيق أيضاً تختلف . وعلى ذلك ، هذا الاحتمال ويقدم إمكانية وجود سلعة مغشوشة Adulteration ، فمثلاً يمكن أن يضاف مسحوق لبن الزبدة أو مسحوق الشرش إلى مسحوق اللبن (الفرز) . يمكن أن يتم الكشف على وجود مسحوق غريب ميكروسكوبياً ، ولكن الخليط لنسبة صغيرة من سائل آخر قبل التجفيف عادة ليس من السهل تثبيته . لأن الشرش أرخص من اللبن الفرز ، فإن هذا النوع من الغش يمكن أن يحدث أحياناً .

2.20 التصنيع *Manufacture*

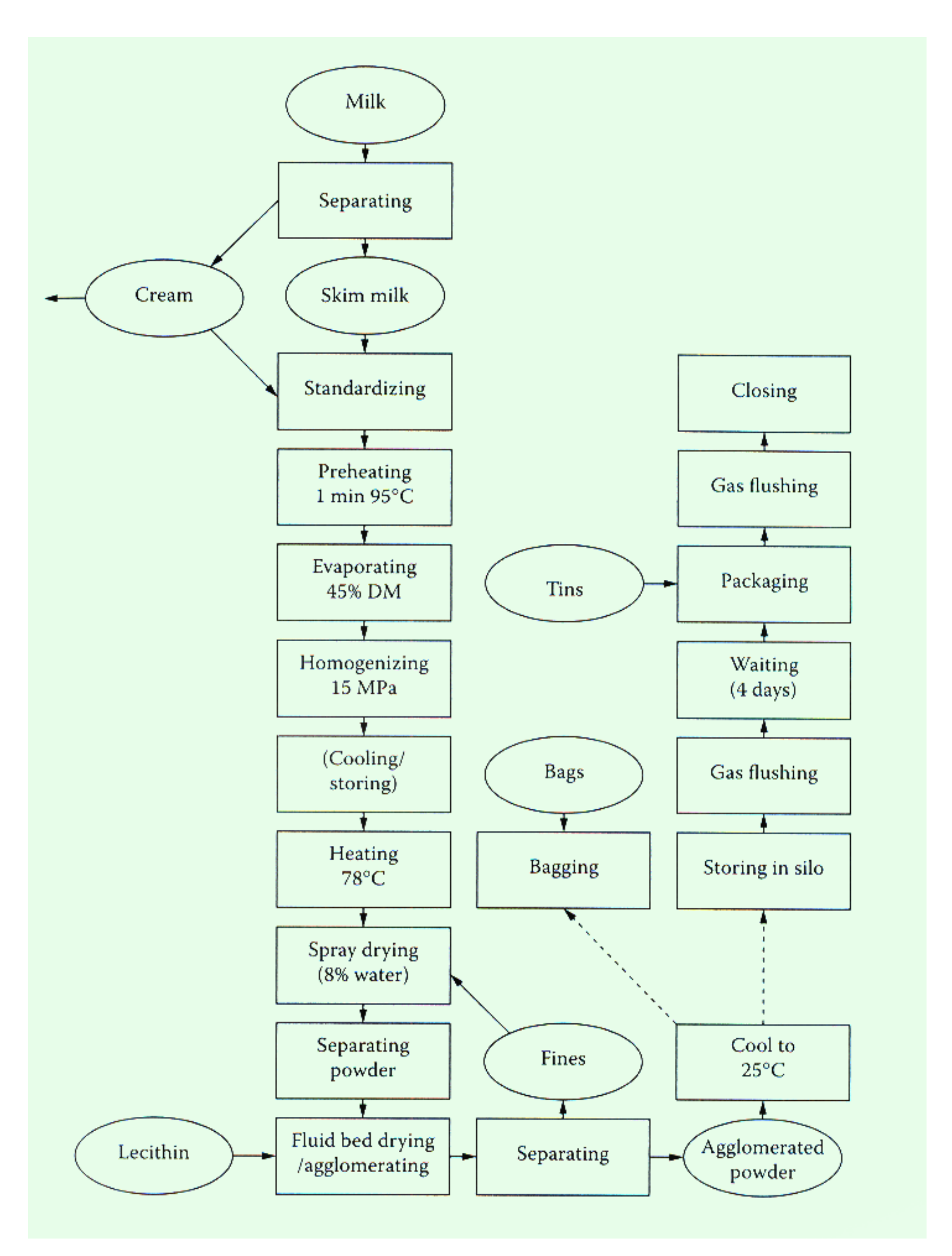
يعطي شـكل 1.20 شـكلاً تخطيطياً لعملية تصـنيع مسـحوق اللبن الكامل سـوف تكون خطوات كثيرة مستخدمة بديهية . تكون البسترة الشديدة مطلوبة للحصول على مقاومة للأكسدة الذاتية .

جدول 1.20 المكونات التقريبية (نسبة وزن/وزن) لبعض أنواع من المساحيق

Table 20.1 Approximate Composition (% w/w) of Some Types of Powder Powder From المساحيق من

المكونات Constituent	اللبن الكامل Whole Milk	اللبن الفرز Skim Milk	الشرش Whey	لبن قشدة الزبد المحلى Sweet-Cram Buttermilk
دهن Fat	26	1	1	5
لاكتوز Lactos	38	51	74-72	46
كازين Casein	19.5	27	0.6	26
بروتينات أخرى Other proteins	5.3	6.6	8.5	8
رماد 'Ash'	6.3	8.5	8	8
حامض لاكتيك Lactic acid	–	–	2-0.2	–
ماء Water	2.5	3	3	3

لا يكون المركْز دائماً مجنساً خاصـة إذا تم تذريته بواسـطة فوهة البزباز Nozzle لأن كريات الدهن يتم تمزيقها بكفاءة في البزباز (تحت فصـــل 2.4.10) . يزيد تجنيس اللبن المركز العالي اللزوجة (لأن نقل جســيمات الكازين الكبيرة إلى كريات الدهن تعطي الأخيرة شـــكلاً غير متســاوٍ لكي تزيد الكســر الحجمي الفعلي لكريات الدهن زائد جسـيمات الكازين) . تؤدي هذه الزيادة إلى قطرات خشنة أثناء التذرية ، مع كل العيوب المستخدمة (تحت فصل 2.4.10) .



شكل 1.20 مثال لتصنيع مسحوق اللبن الكامل

Figure 20.1 Example of the manufacture of whole milk powder

وبالتالي ، إذا لم يجنس اللبن المركز ، فإن التبخير يمكن أن يســـتمر حتى إلى محتوى مادة صلبة عالية . لا يستخدم تخزين المركز قبل التذرية دائماً ، ويستخدم عادة للتغلب على الاختلافات في القدرة بين المبخر والمجفف . إلا أن ، المركز يجب ألا يحفظ دافئاً لأكثر من وقت قصير لكي نمنع نمو الكائنات الدقيقة . المركز المبرد عادة تكون لزوجة للغاية لتكون جاهزة للتذرية ، وعلى ذلك فإنها تسـخن . يجب أن يتم الأخير قبل التذرية مباشـرة . لأن اللزوجة تزداد مرة أخرى (السـماكة بزيادة عمر التخزين) (انظر مثلاً شكل C10.10) . يمكن أن يستخدم التسخين في نفس الوقت لقتل البكتيريا التي يمكن أن تعيد تلوث المركز .

إضـافة اليسـيسـين أثناء التجفيف في طبقة السـائل هو لا يسـتخدم دائماً ويقصـد بها الحصـــول على خواص فورية (تحت فصــــل 1.5.4.20) . مـا يســـمى انـدفاع الغـاز بقوة Gas flushing ، خاصـــة إحلال الهواء بواســـطة غاز النيتروجين أو خليط من النيتروجين وثاني أكسـيد الكربون ، هو إزالة جزء معتبر من الأكسـجين وبذلك ليحسـن الثبات ناحية الأكسـدة الذاتية (فصل 5.20) ، ويمكن أن يحدث مرة أو مرتين . وإذا لم يتم ذلك ، يمكن أن يعبأ المسحوق داخل أكياس ورق عديد الطبقات والطبقة الداخلية من البولي إثيلين . مسحوق اللبن كامل ، عادة ما يعبأ في صفائح أو في عبوات بلاستيكية لتقليل امتصاص الأكسجين .

لتصنيع مسحوق اللبن الفرز ، البسترة يمكن أن تكون أقل شدة (على الأقل غياب إنزيم الفوسفاتيز) ، طبقاً للتطبيق المطلوب (تحت فصل 6.4.20) . يُحذف التجنيس واللبن يمكن أن يركز لمحتوى صلب أعلى إلى حد ما . ولا يحدث إضافة اليسيسين أو اندفاع غازات بشدة . تضاف في بعض الحالات بعض الفيتامينات خاصـــة فيتامين A . وهذا يتم انجازه بالخلط الجاف بعد ذلك ، أو بعمل مستحلب لمحلول مركز لفيتامين A في الزيت داخل جزء من اللبن الفرز .

يكون تصنيع مسحوق الشرش مشابهاً لعملية تصنيع مسحوق اللبن الفرز . في البداية . يجب أن تزال الخثرة الناعمة من الشرش بواسطة الترشيح أو بواسطة دوامات مائية ، والشرش يجب

أن يفصل . المشكلة هي تصنيع الشرش الحامض ، الذي يسبب خبثاً سريعاً للآلات المستخدمة . الشرش الحامض (أو اللبن الفرز) يمكن أن يتم معادلته بالقلوي .

يمكن أن يبخر الشرش إلى 60% مادة صلبة ، ولكن بعد ذلك يحدث بلورة للاكتوز (انظر شكل 11.10) . عملية بديلة هي السماح للاكتوز في الشرش المبخر أن يتبلور إلى أبعد حد ممكن أي لمدة 3 ساعات عند درجة حرارة 25 مئوية مع التقليب . إذا كان المحتوى الصلب أعلى من 60% ، يكون بذر بلورات اللاكتوز غير ضروري (Seeding with lactose crystals) . يجب أن تكون التذرية مع قرص لأن رذاذ فتحة البزباز تصبح مقفولة . مسحوق الشرش المسبق تبلوره الذي تم الحصول عليه له بعض الخواص الجذابة ، خاصة بالنسبة للتكتل caking (فصل 5.20) . ميزة إضافية للمصنع هي الإنتاجية العالية . الطرق التقليدية لتقدير المحتوى المائي في المسحوق لا يطرد الجزء الأكبر من ماء بلورة الألفا- لاكتوز المائية α –lactose monohydrate ، يعطي تبلور 80% من اللاكتوز زيادة قدرها 3% أكثر من مسحوق الشرش . في هذه الطريقة يمكن أيضاً أن يصنع مسحوق لبن الفرز السابق بلورته ، ولكن تحتاج إلى وقت للبلورة أطول وبذر لبلورات اللاكتوز .

3.20 جوانب صحية *Hygienic Aspects*

تعتمد الحاجة للنوعية البكتيرولوجية لمسحوق اللبن جزئياً على الغرض من هذا الاستخدام وأيضاً على طريقة التصنيع . فمثلاً ، سواء استخدم المسحوق للاستهلاك المباشر أو تعرض للمعاملة الحرارية بعد إعادة التكوين . (أي للبن المعاد جمعه Recombined) فإنها تكون هامة . المعاملة الحرارية أثناء تصنيع مسحوق اللبن (الفرز) ، والمصنف منخفض الحرارة (تحت فصل 6.4.20) ، عادة ليس أكثر شدة من المعاملة الحرارية أثناء البسترة المنخفضة ، أي 72 درجة مئوية لمدة 20 ثانية وبالتالي يمكن أن توجد بكتيريا كثيرة حية أثناء عملية التصنيع .

أسـباب كون مسـحوق اللبن غير مقبول بكتيرولوجياً أو حتى غير آمن يمكن أن يرجع إلى ثلاثة أنواع :

1. في اللبن الطازج ، توجد البكتيريا التي لم تقتل بواسـطة المعاملات الحرارية التي تعرض لها اللبن قبل أو أثناء التجفيف .
2. تسـمح الظروف أثنـاء خطوات العمليـات المختلفـة حتى جفـاف المنتج بنمو بعض أنواع البكتيريا .
3. أثناء التصنيع ، يمكن أن يحدث تلوث عرضي (ثانوي) . يكون مستوى التلوث عادة منخفضاً ويظل كذلك إذا لم تستطع البكتيريا النمو .

عند تقدير نوعية البكتيريا في المسـحوق ، فإن نوع البكتيريا المشـتركة يجب أن يؤخذ في الاعتبار . يعطي جدول 2.20 الخطة التي تتبع لمثال واحد في عملية التصـنيع . ثم أسـباب التلوث يمكن أن تسـتنتج ، كذلك الإجراءات التي يجب اتخاذها لتحسـين النوعية . يمكن أن يوجه الجدول الانتباه لنقاط تفتيش صحي .

1.3.20 بكتيريا في اللبن الأصلي *Bacteria in the Original Milk*

انظر باب 5 للجوانب العامة . في اللبن المبرد بشـدة ، يمكن أن تنمو عصى سـالبة الجرام محبة للبرد أثناء التخزين الطويل (مثل الأنواع بسـيدوموناس Pseudomonas spp.) وكما هو معروف ، لا تستطيع هذه البكتيريا البقاء حية حتى في معاملة حرارية متوسطة .

يمكن أن توجد البروتينيز والليبيز المتكونة بواسطة هذه العصي ويتم استيعابها داخل المسحوق . منع نمو هذه البكتيريا (التبريد ، وقت التخزين المحدود ، ... الخ) تم مناقشـتها في فصـل 4.6 . يجب أن تستبعد التلوث والنمو أثناء تخزين اللبن المعامل حرارياً .

البكتيريـا المقـاومـة للحرارة والجراثيم البكتيريـة لهـا أهميـة كبيرة . وهي تحتمـل البسـترة المنخفضـة (72 درجة مئوية لمدة 15 ثـانية) ، وأغلبها يقتل أثناء التبخير والتجفيف . ونتيجة للتركيز ، يحتوي المسـحوق على حوالي 10 مرات من البكتيريـا لكـل جرام أكثر من اللبن بعـد التسـخين المسـبق . سـوف تقتل بسـترة أكثر شـدة البكتيريا المقاومة للحرارة (مثل انتيروكوككس فاكاليس *Enterococcus faecalis* و *S. thermophilus*) وفي مسحوق اللبن عالٍ أو منخفض

الحرارة، الجراثيم البكتيرية فقط والميكروباكتيريم لاكتيكم *Microbacterium lacticum* يمكن أن تنشأ من اللبن الأصلي .

بين البكتيريا المكونة للجراثيم الهوائية وغير الهوائية ، الباســيللس ســيريس *Bacillus cereus* وكلوستريديم بيرفرينجينز Clostridium perfringens يكونان هامين لنوعية المسحوق . إذا استخدم اللبن المعاد تكوينه لعمل الجبن ، فإن عداً قليلاً جداً للبكتيريا المكونة للغاز غير الهوائية المكونة للجراثيم (مثل *C. tyrobutyricum* و *C. Butyricum*) يمكن أن تكون ضــرورية . ومن المحتمل أن توجد جميع هذه البكتيريا من تلوث أثناء عملية الحليب (الروث ، التربة والغبار) . عد منخفض للبكتيريا المكونة للجراثيم غير الهوائية يشــير إلى نوع جيد للعلف المحفوظ في صــوامع (العلف هو مصــدر أغلب بكتيريا كلوســتريديا Clostridia ، العلف ← البقرة ← الروث ← اللبن) . ولكن كلوســتريديم بيرفرينجينز المرضــة لا يكون مصــدرها من العلف ، ويمكن أن يكون مصــدرها الروث . وعلى ذلك ، عد منخفض لبكتيريا غير هوائية مكونة للجراثيم ليس دلالة على غياب كلوســتريديم بيرفرينجينز . وبالمثل ، العدد الكلي للبكتيريا الهوائية المكونة للجراثيم ليس دائماً دلالة على عدد جراثيم باسيلس سيريس *B. cereus* . يكون عادة العد الكلي عالياً أثناء الشتاء ولكن عدد باسيلس سيريس يمكن أن يكون الأعلى في الصيف والخريف . هذا قد يكون سببه (1) التلوث ببكتيريا باســيلس ســيريس يكون عالياً في المرعى ، و(2) عند درجات حرارة عالية في البيئة يمكن للباسيلس سيريس أن تنمو وتتجرثم في معدات غير نظيفة أو غير معقمة خارج أوقات العملية . لكي تقتل الجراثيم البكتيرية. تتراوح المعاملة الحرارية عند درجة حرارة من 90 إلى 110 مئوية لمدد بين 10 إلى 20 ثانية تكون غير كافية . يجب أن تســتخدم المعاملة الحرارية الفائقة UHT. القيمة D هي حوالي 4 ثوانٍ عند 125 درجة مئوية للبكتيريا *B. cereus* وكذلك بالنســبة للبكتيريا *C. perfringens* ، ولذلك سـوف يسـبب التسـخين لمدة 15 إلى 20 ثانية عند هذه الدرجة نقصـاً كافياً لهذه الجراثيم .

جدول 2.20 مثال ، لعملية معينة للأحداث التي توجد مع بكتيريا هامة وإنزيمات بكتيرية أثناء تصنيع اللبن الجاف (الفرز)

Table 20.2 Example, for a Given Process Scheme, of the Events Occurring with Important Bacteria and Bacterial Enzymes during Manufacture of Dried (Skim) Milk

Process step خطوات العملية	Storage التخزين	Packaging التعبئة	Drying التجفيف	صهريج الاتزان Balance Tank	التبخير Eff, 4-6	Eff, 1-3	البسترة[a] High	Low	Regen[b]	Storage التخزين	المعاملة الحرارية Thermal zing	Row Milk اللبن الخام
درجة الحرارة (C°) Temperature	Ambient	25	100-40	40	58-42	70-58	45	72	65-6	6	65	5
المدة (دقيقة أو يوم) Duration (min or days)		3d	4m	2m	8m	6m	1/4m	1/4m	1m	2d	m1/4	3d
محتوى المادة الجافة (%) Dry-matter content (%)	96	96	96-50	50	50-30	30-9	9	9	9	9	9	9
البكتيريا المحبة للبرد Psychrotrophs							K	K	(S)	(G)*,C	K	G*
الإنزيمات المقاومة للحرارة Heat-resistant enzymes	P	S	----	----	----	----	S	S	S	(A,F)	S	F
Staphylococcus spp.	P	(C)*	(S)	G,C*	(G)	(C)	K	K	(S)	S	(S)	C
Enterobacteria	P	C*	(S)	C*			K	K	(S)	S	(S)	C
Salmonella ssp.	؛	C*	(S)	C*			K	K	(S)	S	(S)	C
Streptococcus thermophilus	P	S	----	----	----	S	K	S	G*	S	G*	(C)
Entero cocci	P	S	(S,C)	G	G	S	K	S	----	----	S	C
Bacillus cereus	P	S	S	(C)*	(C)	(C)	(S)	S	C*	C	S,(C)	C
B. stearothermophilus	P	S	S	G*	G	G	S	S	C	S	C	(C)
Clostridium spp.	P	S	----	----	----	----	S	S	----	----	S	C*

ملاحظة : A = نشطة ، C = التلوث ممكن ، Eff. = تأثيرات ، F = يتكون ، G = النمو ، K = قاتل ، P = يمكن أن توجد ، S أو S-S = حية ، () = جزئياً ، * نقطة اهتمام . a تم ذكر نوعان متقابلان من البسترة ، Regen b = قسم الاسترجاع الحراري

Notes: A= active; C= contamination possible; Eff. = effects; F = formed; G = growth; K = killed; P = can be present; S or S ----S = survive; ( ): = partly, occasionally; and * = attention point.

a. Two alternative pasteurization intensities are given;

b. Regen. = heat regeneration section.

2.3.20 النمو أثناء التصنيع ***Growth During Manufacture***

يمكن أن تسمح درجة الحرارة والنشاط المائي أثناء الخطوات المتتالية في التصنيع بنمو البكتيريا المحبة للحرارة والتي لا تقتل أثناء عملية التجفيف . يكون نوع البكتيريا محدداً للتلوث . بعض الأمثلة سوف يتم مناقشتها .

في قسم الاستعادة الحرارية للمبستر والمسخن الحراري (ومن المحتمل في جزء من المبخر حيث يسخن اللبن) ، ستريبتوكوكس ثيرموفيليس *S. thermophilus* خاصة يمكن أن تنمو . تنمو البكتيريا أسرع عند 45 درجة مئوية ولكن نادراً ما تتضاعف عند درجة حرارة فوق 50 درجة مئوية . وعادة لا تنمو في المبخر ، لأن درجة الحرارة تكون عالية جداً في التأثير الأول ، بينما في التأثيرات الأخيرة a_w تكون أكثر انخفاضاً . ولأن *S. thermophilus* تكون متوسطة المقاومة للحرارة ، فإن أعداداً كبيرة نسبياً يمكن أن تنتج ، خاصة في مسحوق اللبن متوسط وعالي الحرارة تقتل البكتيريا أثناء التصنيع . يمكن أن يعطي تقدير العد البكتيري لـ *S. thermophilus* في اللبن قبل التسخين المسبق Preheating مؤشرات جيدة عن الخبث في قسم التسخين في المصنع والوقت الذي يجب أن يتم فيه التنظيف . في بعض معدات التجفيف . التي تستخدم غاسلاً مبللاً لكي تستعيد المسحوق الدقيق ، يكون خروج الهواء على اتصال بغشاء من اللبن بدلاً من الماء ، وعلى ذلك يتحقق تسخين مسبق للبن وتوفير للطاقة ، وهذا يستدعي أن اللبن المسبق تسخينه يكتسب درجة حرارة بصيلة الترمومتر المبلل (حوالي 45 درجة مئوية) والتي تؤدي إلى نمو مثالي للبكتيريا ستربتوكوكس ثيرموفيليس .

ليست الظروف في النصف الثاني للمبخر وفي خزان التعادل مثالية للبكتيريا *S. thermophilus* . انتيروكوكس (*E. faecium* تكون ممثلاً جيداً) ، وسوف تبدأ في النمو . إذا كان اللبن سبق تسخينه والمعدة قد تم تنظيفها بشكل مرضٍ وتم تعقيمها ، فإن ذلك سوف يتطلب وقتاً طويلاً ، قبل أن يكتمل العد الابتدائي للبكتريا *E. faecium* . في التطبيق ، هذه المتطلبات

لا تفي دائمـاً وفي مســـحوق اللبن الـذي بـه عـد بكتيري عـالٍ ، تكون البكتيريـا *E. faecium* هي النوع السائد .

وبالمثل ، تكون الظروف في الجزء الثاني من المبخر وفي خزان التعادل ملائمة لنمو البكتيريا *Staphylococcus* . تقتل البكتيريا عامة بالبسترة ، وسلالات البكتيريا *S. aureus* في مسحوق اللبن قـد اتضـــح أن لهمـا مواصـــفـات للاقمـاتها البكتيرية تختلف عن الســـلالات في اللبن الخام . ويفترض أن مصـدرها يكون من التلوث البشـري المباشـر وغير المباشـر . يمكن أن تتكون الســـموم المعدية المقاومة للحرارة والكمية المتكونة عن عد بكتيري قدره من 10^7 إلى 10^8 لكل مليمتر يمكن أن يمثل المسحوق خطورة صحية . بالرغم من أن البكتيريا *S. aureus* ليست مقاومة للحرارة ، يظهر أن الظروف أثناء التجفيف لا تسـبب القتل الكلي . من 10^{-5} إلى 10^{-1} من العد الابتدائي لهذه البكتيريا قد وجدت حية تحت ظروف عملية مختلفة . وهذا يعني أن *S. aureus* يمكن على الأقل أن توجد في جرام واحد من المسحوق الطازج إذا كان العد البكتيري قبل التجفيف مرتفعاً لدرجة إنتاجه لسموم معدية .

باســـيلس ســـتياروثيرموفيليس *Bacillus stearothermophilus* يمكن أن تنمو عند درجات حرارة عالية . يتراوح نموها من 45 إلى 70 درجة مئوية ، ودرجة الحرارة المثلى هي 60 درجة مئوية . ويمكن أيضـــاً أن تنمو في اللبن المركز وعلى ذلك خلال المعدات بين التســـخين المســـبق والتجفيف . بالإضـــافة إلى ذلك ، يمكن أن تُكون البكتيريا جراثيم تحت هذه الظروف ، والتي تحد من القتل أثناء التجفيف . ومن الواضـــح أن بعض النمو لبكتيريا *B. stearothermophilus* سوف تحدث أثناء التصنيع ، حتى في معدات نظيفة ومعقمة . إلا أن هذا لا يسبب مشاكل تحت أغلب الظروف .

بالنســبة لنمو البكتيريا أثناء عمليات التصـنيع ، فإن عدداً من الإجراءات يجب أن تتخذ لمنع المعدات من أن تصـــبح نوعـاً من المخمر للبكتيريـا . يجـب أن يوجه انتبـاه خـاص لـدرجـة الحرارة ، وللوقـت الـذي يقضـــيـه المنتج في المِعدْة ، وملاحظـة قـدرات الأجزاء المختلفـة للآلـة .

تكون المجففات ذات الغشاء الساقط عديدة التأثير أكثر كفاءة في هذا الخصوص من المجففات بالرذاذ . (إذا كان ذلك مطلوباً لإنجاز عامل تركزي عالٍ كلما أمكن ذلك ، ويجب أن نأخذ في الاعتبار أن لزوجة المنتج في التأثير الأخير سوف يكون مرتفعة جداً . أيضاً وزن الاحتجاز) . تحتاج خزانات الاتزان إلى اهتمام خاص ، وينصح بأن حجم خزانات اتزان المركز يكون صغيراً قدر الإمكان . عادة ما يوجد خزانات ، مما يجعل التغيير ممكناً كل ساعتين وبذلك يمكن تنظيف أحد الخزانات بينما يكون الآخر في التشغيل . يجب أن يمنع تلوث سريان المنتج من الخارج ، وخاصة بالنسبة للبكتيريا *S. aureus* .

يمكن أن يبستر اللبن المركز مباشرة قبل أن يدخل المجفف وهذه الطريقة يزداد استخدامها . وهي ناجحة خاصة بالنسبة لقتل البكتيريا *E. faecalis* و *E. faecium* . بشرط أن تكون الحرارة المستخدمة عالية بشكل كافٍ . التسخين لمدة 45 ثانية عند درجة حرارة 72 مئوية له تأثير طفيف ، 45 ثانية عند درجة حرارة 78 مئوية يحدث انخفاضاً ملحوظاً . نتيجة لانخفاض المحتوى المائي ، قيم D وZ تزداد قليلاً (انظر جدول 5.7) .

3.3.20 التلوث العرضي *Incidental Contamination*

اختلاف يمكن توضيحه بين التلوث قبل التجفيف (الجزء المبلل) وأثناء أو بعد التجفيف (الجزء الجاف) . البكتيريا المشتركة في هذه الأنواع من التلوث عادة لا تنمو أثناء العملية وتضيف قليلاً إلى العد البكتيري للمسحوق .

يمكن أن يحدث التلوث بعد التسخين المسبق وقبل التجفيف أذا نظفت الآلة بطريقة غير كافية . وهذا يكون فقط هاماً إذا استطاعت البكتيريا المشتركة أن تقاوم الجفاف (والبسترة قبل الجفاف ، إذا استخدمت) . بالرغم من ارتفاع درجة حرارة هواء الدخول والخروج . سوف لا تصل القطرات المركزة عادة إلى درجة حرارة عالية (تحت فصل 4.4.10) . بالإضافة إلى ذلك ، تزداد مقاومة البكتيريا للحرارة بصورة ملموسة أثناء التجفيف ، بينما يختلف تواجد البكتيريا

S. aureus بشـكل واسـع . سـوف توجد حوالي من 10^{-4} إلى 10^{-5} من العد الابتدائي لأنواع السالمونيلا .Salmonella spp والأشيريشيا كولاي *E. coli* حية . اعتماداً على هذه الحقائق ، ونتيجة لمستوى التلوث المنخفض ، يتوقع ألا يحتوي المسحوق على أعداد بكتيرية معوية مباشرة بعد ترك المجفف . وقد تم إثبات ذلك في التطبيق العملي .

يمكن أن يحدث تلوث المسحوق في أماكن كثيرة – في المجفف بالرذاذ ، أثناء تجفيف الطبقة السائلة . وأثناء التعبئة . يمكن أن تختلف الأنواع البكتيرية المسببة للتلوث بشكل واسع ، ولكن دائماً ما تخص أنواعاً تستطيع النمو في المتبقيات الرطبة لمسحوق اللبن في المجفف أو في الأشياء المحيطة بخط التصنيع . يجب أن يوضع التلوث عن طريق الاتصال الآدمي المباشر في الاعتبار أيضاً . (مثل *S. aureus*) . يمكن أن تعيش البكتيريا بسهولة في المسحوق الجاف ، وبكتيريا غير مرغوب فيها يمكن أن تبدأ نموها إذا زاد المحتوى المائي عن 20% . يمكن أن يكون إمداد الهواء البارد داخل المجفف بالرذاذ وداخل مجفف الطبقة السائلة مصدر تلوث مباشر . ويمكن أيضاً أن يكون مسئولاً عن التلوث غير المباشر لأنه يعطي ، في بعض الأماكن ، ظروفاً جيدة لبقاء ونمو البكتيريا في متبقيات المسحوق غير كاملة الجفاف . احتياطات خاصة يجب اتخاذها إذا كان المجفف وملحقاته ينظف بالماء . ولكي نحد من التلوث العرضي ، المصنع وما يحيط يجب أن يكون خالياً من متبقيات المسحوق المبتلة .

من بين أنواع البكتيريا الموجودة في هذا النوع من التلوث ، البكتيريا المعوية تكون ذات أهمية خاصة . وتخص عادة بكتيريا القولون ، وهذه من المحتمل أن يكون اللاكتوز هو المصدر الكربوني الوحيد الموجود في هذه البيئة . وبرغم ذلك ، استخدام البكتيريا القولونية ككاشف له استخدام محدود لمسحوق اللبن . إذا غابت هذه البكتيريا coliforms فإن السلمونيلا أو بكتيريا ممرضة أخرى يمكن أن توجد .

4.3.20 أخذ العينات والفحص ***Sampling and Checking***

سـوف تكون البكتيريا الناتجة عن التلوث والنمو قبل التجفيف عادة متجانسـة التوزيع خلال المسحوق ولا تسبب أي مشاكل بالعينة . وهذا مختلف عن البكتيريا التي تنشأ عن التلوث العرضي للمسحوق ، والذي يمكن أن يوزع بطريقة غير متجانسة . وليس من المستحيل أن نصمم تخطيطاً للعينة يضمن الكشف عن التلوث العرضي . ولكي نتأكد من أن المنتج آمن من الناحية البكتيريولوجية ، فلا يكفي أن يكون المسحوق سليماً ولكن يجب أن تؤخذ عينات من أماكن يحتمل أن تكون مصادر للتلوث . يوضح جدول 2.20 أمثلة لمثل هذه النقاط الجاذبة للانتباه .

4.20 خواص المسحوق ***Powder Characteristics***

تؤثر خواص عديدة للمنتجات المسحوقة ، لأغلب الأجزاء من الطبيعة الفيزيائية على نوعية وملائمة المسحوق لمتطلبات خاصة . إن هذه الخواص وكذلك تأثير متغيرات العملية عليها ، تم مناقشتها في هذا القسم .

1.4.20 الجزيء ***Particle***

يتكون جزيء مسحوق اللبن عادة من كتلة مستمرة من لاكتوز غير متبلر ومكونات كتل مولارية منخفضة أخرى يدفن فيها كريات الدهن وجسيمات الكازين وجزيئات بروتينات المصل . يكون اللاكتوز عادة في الحالة الزجاجية (تحت فصل 4.1.10) ، يكون الوقت اللازم لتبلوره قصير للغاية . إذا حدث قبل تبلور Precrystallization فإن بلورات لاكتوز كبيرة يمكن أن توجد (عشرات الميكرومترات في الحجم) . عندما نفحص بلورات اللاكتوز وهي تشبه التمهوك (سلاح كالفأس يصنعه الهنود الحمر) في الشكل وتضاف إليه بعض المواد اللاصقة. إذا سمح للاكتوز بالتبلور بعد ذلك نتيجة لامتصاص الماء (فصل 5.20) ، فإن بلوراته تكون عادة صغيرة (حوالي ميكرومتر واحد) .

تكون أغلب كريات الدهن أقل من 2 ميكرومتر ، ولكن نسـبة صـغيرة من الدهن (تبلغ 2%) توجد كطبقة رقيقة على أجزاء من سـطح جزيئات المسـحوق (انظر النص التالي) . تمت مناقشـة تكون الفراغات في جزيئات المسـحوق في تحت فصـل 2.2.4.10 . يتراوح حجم الفراغ V لأغلب المسـاحيق بين 50 إلى 400 ميليلتر.كيلوجرام$^{-1}$. يوجد توضيح لشـكل حبيبات المسـحوق في شكل 17.10 .

توجد أمثلة لتوزيع حجم جزيء مسـحوق اللبن في شكل 15.10 . عادة d_{vs} تكون بين 20 و60 ميكرون ، ويكون التوزيع عادة واسعاً : C_S يتراوح من 0.4 إلى 0.7 . تكون الجزيئات في المسـحوق المتجمع أكبر وقد تصـل إلى مليمتر واحد . مثل هذا المسـحوق عادة ما يحتوي على حبيبات قليلة منفصـلة أقل من 10 ميكرون . في عينة واحدة من المسـحوق غير المتجمع ، تحتوي أكبر الجزيئات حجماً في المتوسـط على حجم فراغات أعلى ، جزئياً لأن القطرة التي تجف تنكمش أكثر قوة إذا لم تحتوي على فراغات . العوامل التي تؤثر على توزيع حجم الجزيء تم مناقشـتها في تحت فصل 1.2.4.10 .

2.4.20 الدهن المستخلص *Extractable Fat*

عادة ما يسـتخدم المصـطلح "دهن حر" ، ولكنه غير صـحيح من الناحية الأدبية ، لأنها تعني أن بعض الدهن يحصر في حبيبات المسحوق بدون غشـاء محيط . ما يسـمى الدهن الحر يتم تعيينه بالاسـتخلاص بمذيب عضـوي . في الحقيقة يتم اسـتخلاص الدهن من كريات الدهن التي تكون في تلامس مع سطح الجزيء ، أو مع الفراغ ، بثقوب أو شروخ ، ... الخ . كما هو موضـح في شـكل 2.20 . يمكن أن تتكون الشـروخ إذا كان اللاكتوز في الحالة الزجاجية . ومن الواضـح أن كمية الدهن المستخلص سوف تكون كبيرة كلما كانت جزيئات المسـحوق أصـغر . وتحصـر بينها فراغات أكبر عدداً ، وأن التجفيف قد تم عند درجة حرارة أعلى (وتعطي شـروخاً أكثر عدداً ، انظر أيضـاً شـكل B16.10 وشـكل 24.10) . زيادة المحتوى المائي للمسـحوق ، كما يحدث عند

أخذ الماء من الهواء ، يقلل كمية الدهن المستخلص ، لأن الشروخ تقفل نتيجة للانتفاخ (الأخير يقتضي أن اللاكتوز يفقد حالته الزجاجية) . طرق الاستخلاص ، تكون معتمدة على التجربة والقيم الناتجة تعتمد كثيراً على اختلافات قليلة في الخطوات التحليلية .

إن محتوى الدهن المستخلص غالباً ما يستخدم كعلامة جودة . ولكن هذا يكون ذا أهمية قليلة ، لأنه يرتبط بصعوبة مع خواص مركبات أخرى (ماعدا مع المعدل الذي تمتلئ به الفراغات بالهواء في جزيئات المسحوق) . يوضح الربع العلوي الأيسر من الشكل 2.20 أن جزءاً من الدهن يمكن أن يتكون على سطح جزيئات المسحوق . مثل هذا الدهن يمكن تقديره بواسطة عملية استخلاص قصيرة (3 ثوانٍ) عند درجة حرارة منخفضة . ويرتبط مع زاوية تماس البلل للمسحوق وبالتالي مع التشتت (كلما زاد دهن- السطح كلما قل البلل) (انظر تحت فصل 1.5.4.20) . ويكون من المستحسن تقدير جزء سطح الجزيء الذي يكون مغطى بالدهن : انطباع يمكن الحصول عليه بواسطة الميكروسكوب الضوئي للمسحوق المصبوغ بصبغة ذائبة في الدهن .

إن كمية الدهن المستخلص يمكن أن تقل بواسطة تجنيس شديد ، ولكن هذا يحدث فقط في مسحوق لبن أقل من 20% دهن ، وهذا يؤثر على الانتشار بشكل قليل .

3.4.20 الانسياب الحر *Free- Flowingness*

يشير الانسياب الحر إلى قدرة المسحوق على الانسياب أثناء الصب . الخاصية يمكن تقديرها بواسطة صب كومة من المسحوق تحت ظروف قياسية وقياس زاوية السكون α . وهذا تم توضيحه في شكل 3.20 . كلما كانت الزاوية أصغر كلما زاد انسياب المسحوق . ظل تمام الزاوية α يكون قياساً صحيحاً للانسياب الحر . إذا لم يكن المسحوق حر الانسياب فإنه يمكن أن يسمى مسحوقاً لاصقاً Sticky ، أي أن الجزيئات لا تتدفق بسرعة فوق بعضها . وبالتالي ، سوف تكون المسامية ε (أي حجم الفراغات بين الجزيئات) عالية .

الأمثلـة موجودة في جـدول 3.20 . ويتضـــح أن مســـحوق اللبن الفرز يكون أكثر انســـياباً حراً من مســـحوق اللبن كامل الدســـم ، وأن التكتل يقلل الانســـياب الحر ، على الأقـل بـالنســـبـة لمســـحوق اللبن الفرز . بزيـادة المحتوى المـائي للمســـحوق ، يمكن أن يزداد الانسـياب الحر أولاً ، ولكن يقل بوضـوح بازدياد المحتويات المائية (أكبر من 5%) . عادة ، يكون الانسـياب الحر أفضـل قليلاً عند درجات حرارة منخفضـة . ويمكن أن يتحسـن بصـورة ملموسـة بإضـــافة بعض مســـاحيق خاملة دقيقة للغاية مثل SiO_2 وصـــوديوم- ألمونيوم ســـيلكات ، أو $Ca_2(PO_4)_2$ (انظر جدول 3.20) . تستخدم هذه الإضافات مثلاً في مسحوق اللبن المعد لآلات عمل القهوة .

جدول 3.20 أمثلة لظل التمام لزاوية السكون α (كقياس الانسياب الحر) والمسامية ε لبعض أنواع من المساحيق

Table 20.3 Examples of the Cotangent of the Angle of Repose α (as a Measure of Free-Flowingness) and the Porosity ε (Lightly Bulked) of Some Types of Powder

المسحوق Powder	الإضافات Additive	ظل تمام الزاوية cot α	المسامية Porosity ε
اللبن كامل الدسم Whole milk	–	0.45	0.74
لبن الفرز Skim milk	–	0.97	0.57
لبن الفرز الفوري Instant Skim milk	–	0.75	0.73
اللبن كامل الدسم Whole milk	فوسفات الكالسيوم 2% $Ca_2(PO_4)_2$	1.19	0.56
لبن الفرز Skim milk	فوسفات الكالسيوم Same	1.28	0.54
لبن الفرز الفوري Instant Skim milk	فوسفات الكالسيوم Same	0.93	0.63
اللبن كامل الدسم Whole milk	0.5% SiO_2	1.23	0.51

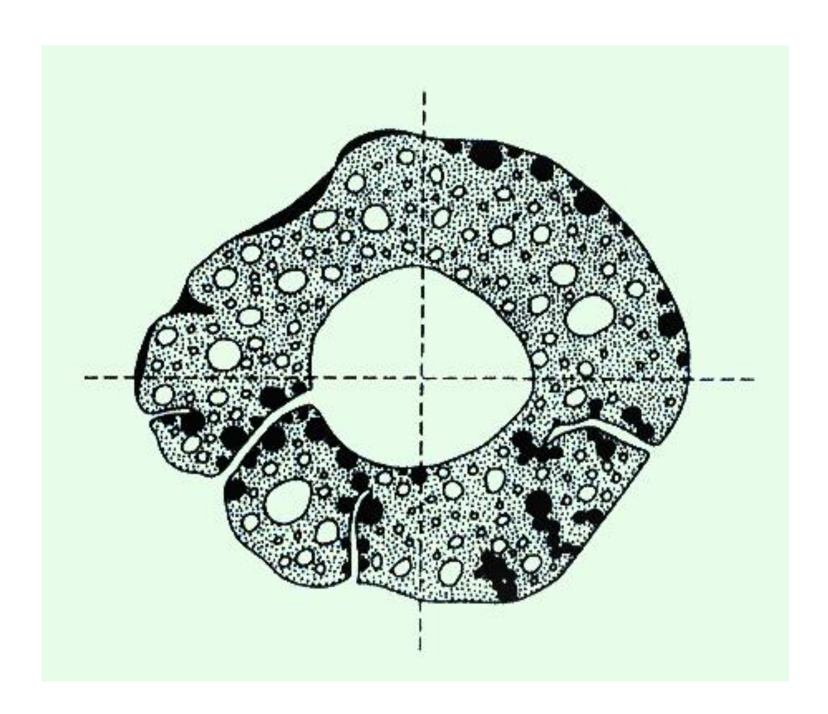
4.4.20 حجم خاص *Specific Volume*

يمكن أن تعرف كثافة المسحوق بطرق عديدة . تسمى كثافة مادة الجزيء ، عند استبعاد الفراغات الكثافة الحقيقية true density ρ

تقريباً لدينا : اللبن الكامل الدسم المجفف ρ_t = 1300 كيلوجرام . متر$^{-3}$

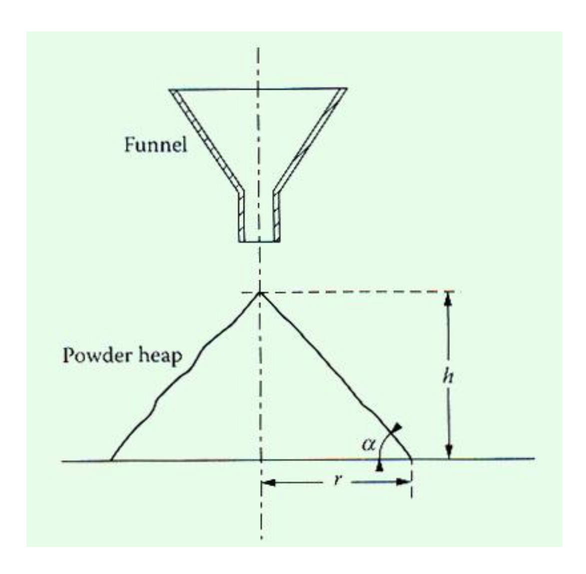
اللبن الفرز المجفف ρ_t = 1480 كيلوجرام . متر$^{-3}$

الشرش المجفف O_t = 1560 كيلوجرام . متر$^{-3}$



شكل 2.20 نموذج تخطيطي لجزيء مسحوق اللبن ، موضحاً أي جزء من الدهن (الأسود) يمكن استخلاصه . في كل مربع نوع آخر من الدهن المستخلص تم توضيحه

Figure 20.2 Diagrammatic model of a milk powder particle, indicating which part of the fat (dark) can be extracted. In each quadrant another type of extractable fat is indicated. (From T.J. Buma, *Neth. Milk Dairy J.*, 25, 159-174, 1971)



شكل 3.20 تحديد زاوية السكون α لكومة مسحوق تكونت بعد صب المسحوق خلال نظام قمعي . الانسياب الحر يمكن أن يعبر عنها بـ $\cot \alpha = r/h$

Figure 20.3 Determination of the angle of repose α of powder heap, formed after pouring the powder through a funnel stem. Free-flowingness can be expressed as cot α = *r*/*h*

كثافة الجزيء ρ_p يشمل الفراغات وعلى ذلك تحسب بواسطة

$$\rho_p = \frac{\rho_t}{1 + v\rho_t} \quad (20.1)$$

حيث حجم الفراغ V بالمتر$^{-3}$.كيلوجرام$^{-1}$. في مســـحوق لبن الفرز ρ_p عادة يتراوح بين 900 إلى 1400 كيلوجرام . متر$^{-3}$. الكثافة الكلية للمسحوق P_b تحسب كالتالي :

$$\rho_b = P_p(1-\varepsilon) = \rho_t \frac{1-\varepsilon}{1+V\rho_t} \quad (20.2)$$

حيث ε هي المســـامية أو كســـر حجم الفراغات . عادة ε تتراوح بين 0.4 إلى 0.75 . ولكنها تعتمد على طريقة تحضير المسحوق . وهي تقل بشكل ملحوظ عندما يحضر المسحوق بواسطة الهز shaking أو النقر tapping ، فمثلاً ، تنخفض من 0.70 إلى 0.45 لمسحوق اللبن كامل الدسم

ومن 0.55 إلى 0.40 لمســـحوق اللبن الفرز . ε تعتمد أيضـــاً على عوامل أخرى ، العلاقة مع الانسياب الحر سيتم مناقشتها في تحت الفصول القادمة . الخلاصة ، ρ_b يمكن أن تختلف بشكل واسع ، أي من 300 إلى 800 كيلوجرام . متر$^{-3}$.

الحجم النســبي Specific Volume تســاوي $1/\rho_b$. وغالباً ما يتم التفريق بين الحجم الكلي النســـبي Specific bulk volume (إذا كان المســـحوق خفيف التجمع) وحجم التعبئة النســـبي Specific packed volume (إذا سمح للمســـحوق أن يســـتقر مثلاً بواســـطة النقر By tapping) . ولتقدير ذلك فإن جهازاً للنقر يمكن أن يستخدم ، والذي يسبب بصورة مكررة وقوع اسطوانة مدرجة بها مسحوق على أساس صلب . ومن الواضح ، إن حجم التعبئة له أهمية كبيرة بالنسبة لكتلة المسحوق التي يمكن أن تخزن في عبوة معينة . ومن المفضـل ، ألا نقلل الحجم كثيراً بواســطة النقر وإلا ظهرت علبه مملوءة بالمســحوق عند التعبئة كأنها فارغة جزئياً عندما تفتح بواسطة المستهلك .

توضح المعادلة 2.20 أن المتغيرات المحددة لــ ρ_b هي حجم الفراغ (V) والمسامية $(\bar{\varepsilon})$. متغيرات العملية المؤثرة على V تم تلخيصـــها في شـــكل 16.10 . عادة ، ســـوف تؤدي العوامل المسـببة للزوجة عالية للمركز أثناء التذرية إلى خفض V وبالتالي إلى ρ_b أعلى . تؤثر عوامل أخرى على ε (انظر مثلاً جدول 3.20) ، وليس جميعها تكون سـهلة الشـرح . عامة ، ε سـوف تكون أعلى إذا كانت جزيئات المسحوق غير منتظمة الشكل وتختلف قليلاً في الحجم . وطبقاً لذلك فإن التكتل وكذلك إزالة جزيئات المسـحوق الصـغيرة ، تزداد ε بوضـوح ، وبالتالي تقل ρ_b . ε يمكن أن تقل قليلاً عندما يزداد المحتوى المائي للمســحوق ، ومن المحتمل ، أنها تســبب ســطح الجزيء أن يصبح أكثر نعومة . يجعل التبلور المسبق للاكتوز الجزيئات ذات زوايا أكثر وتزداد ε قليلاً .

ومن الواضــح ρ_b تزداد نتيجة للهز والنقر أو التذبذب . وعموماً فإن التأثير الناتج يكون عكســياً ، ولكن في المســحوق المتكتل ، التكتلات يمكن تمزيقها ، وبالتالي ، ρ_b يزداد بطريقة غير عكسية ، تضعف الخواص الفورية (تحت فصل 1.5.4.20) .

5.4.20 الذوبان *Dissolution*

عندما نذيب مسحوق اللبن في الماء ، يمكن التعرف على المراحل التالية :

- المسحوق يتم انتشاره ، يستلزم أن جزيئات المسحوق سوف تصبح مبتلة بالكامل ، والذي يمكن أن يأخذ بعض الوقت .
- بالتالي ، المكونات القابلة للذوبان تذوب ، والجزيئات شبه الغروية (كريات الدهن وجسيمات الكازين) تصبح منتشرة في السائل . وهذا سوف يستغرق عدة دقائق . عامة ، جزء صغير لا يتم ذوبانه .
- بعد الحصول على محلول ، ويمكن أن يستغرق حوالي يوم قبل تكونه ، خاصة توزيع الملح قبل الوصول لحالة التعادل . يمكن أن تسرع هذه العملية بواسطة تسخين اللبن المعاد تكوينه من 50 إلى 60 درجة مئوية ثم تبريده ثانية .

في هذا الفصل ، العملية الأولى ، أي نشر المسحوق ، والذوبان الجزئي سوف يتم مناقشتها .

1.5.4.20 سهولة الانتشار ، المسحوق الجاهز

Ease of Dispersing; Instant Powder

تسبب إذابة مسحوق في ماء ساخن باستخدام مقلب عالي السرعة مشاكل قليلة . ومع ذلك ، يمكن أن يكون انتشاره في ماء بارد تحت الظروف المنزلية غير سهل . يعتمد الانتشار أولاً على معدل الاختراق الكامل للماء لكتلة من المسحوق . فإذا حدث ذلك بسرعة ، فيقال أن المسحوق له خواص "جاهزة Instant" .

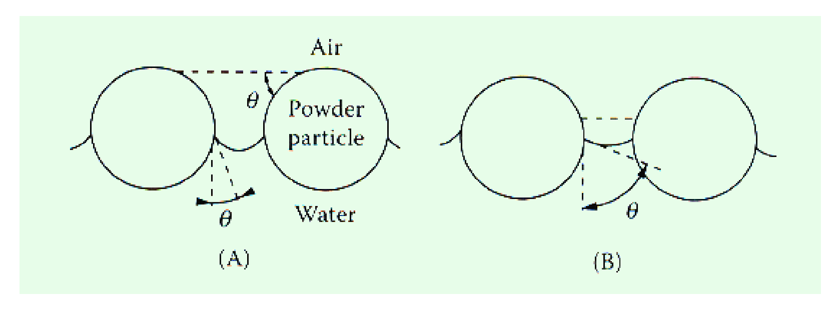
الظواهر التالية ، التي تحدث عندما تلامس كمية من المسحوق الماء ، تكون في غاية الأهمية :

1. يجب أن يكون المسحوق قابلاً للبلل بالماء . افترض جزيئات نوعان من المسحوق اقتربا من بعضهما على سطح الماء (شكل 4.20) . يعتمد البلل على زاوية تماس (θ ، مقاسة في الحالة المائية) الجهاز المكون من اللبن الجاف والهواء . تم مناقشة ذلك في تحت

فصل 5.1.1.3 . لجسم صلب كاره للماء تكون الزاوية θ كبيرة ، أما بالنسبة للجسم الصلب محب للماء فإنها تكون صـــغيرة . إذا كانت θ أقل من 90 درجة ، تكون الجزيئات مبتلة . بالنســـبة للبن الفرز المجفف تكون θ حوالي 20 درجة ، للبن الجاف حوالي 50 درجة . وهذا ســـوف يقتضـــي أن الماء يمتص دائماً داخل الثقوب بين الجزيئات بواســـطة القوى الشـــعرية Capillary forces ، إذا كان ســـطح الماء منحنياً ، تعمل القوة الشـــعرية في اتجاه الجانب المقعر ، أي إلى أعلى في حالة شـــكل 4.20 . في مســـحوق اللبن الفرز وهذه هي في الحقيقة الحالة في التطبيق العملي . ولكن الشكل يُظهر أن الارتفاع الأقصى الذي يمكن للماء الارتفاع بين جزيئات المسـحوقات- والتي تكون حتى وصول سطح الماء المستوى- يكون أكبر للزاوية θ الأصـــغر . يكون الوضـــع في التطبيق العملي أكثر تعقيـداً (ثلاثي الأبعـاد وليس ثنائياً ، لا يكون ســـطح جزيئات المســـحوق أملس) ، ولكن بحس الجودة تنطبق عليها نفس العلاقات . أثناء بلل كتلة المســـــحوق هناك زاوية تماس فعلية θ_{eff} والتي هي أكبر معنوياً من زاوية تماس على السطح المستوى . في مسحوق اللبن كامل الدسم θ_{eff} يمكن أن تكون أكبر من 90 درجة ، خاصة إذا كان الدهن صلباً جزئياً ، النتيجة هي أن الماء سوف لا يخترق كتلة المســـحوق ، أو قد يحدث في المكان فقط والعلاج هو تغطية جزيئات المســـحوق بطبقة رقيقة من الليسيثين Lecithin وبالتالي تنخفض θ_{eff} بشكل ملحوظ .

2. تكون سـرعة اختراق السـائل داخل المسـحوق أبطأ بالنسـبة لزاوية θ_{eff} أكبر . بالإضـافة إلى ذلك ، تتناســب السـرعة مع متوسـط قطر الثقوب بين الجزيئات وتتناســب عكسـياً مع لزوجة السائل . كلما كانت جزيئات المسحوق أصغر ، كلما كانت السرعة في الحجم أوسع (تسمح للجزيئات الأصغر أن تملأ الفراغات بين الجزيئات الكبيرة) ، وكلما كانت المسامية أصغر ، فإن الثقوب ســوف تكون أضــيق . في أغلب مســاحيق اللبن الفرز ، تكون الثقوب ضـيقة للغاية لكي تسمح بالاختراق السريع للماء .
3. تتفاقم المشـكلة الثانية عندما تصـبح الثقوب أضـيق أثناء البلل . وهذا لأن التوتر الســطحي للسطح البيني ماء- هواء لجزيئين تجذب جزئياً الجزيئات المبللة بالقرب من بعضها . نتيجة لهذا

الانكماش الشـــعري capillary contraction فإن القوة تقل من 30 إلى 50% في الحجم بعد البلل .



شكل 4.20 الارتفاع الشعري للماء بين جزيئات مسحوقان . θ = زاوية التماس . الخط المتقطع يشير إلى الوضع الذي يكون فيه سطح الماء مسطحاً . (A) $\theta = 20$ درج مئوية (B) $\theta = 70$ درجة مئوية . شكل تخطيطي عالي

Figure 20.4 Capillary rise of water between two powder particles. θ = angle of contact. The broken line denotes the situation in which (for cylinders) the water surface is flat. (A) $\theta = 20°$. (B) $\theta = 70°C$. Highly schematic

4. اختراق المحلول المائي يظهر بذوبان محتويات المسحوق في الماء ، وبالتالي تزداد لزوجة السائل ، اللاكتوز ، المكون الرئيسـي ، يكون موجوداً في الحالة غير المتبلورة ولذلك فهي تذوب بسـرعة لتكون محلول لزج للغاية .

5. نتيجة للظاهرة 2 و4 اختراق الماء سـوف يقف حالاً ، كتل من المســحوق تتكون والتي تجف بـالداخـل ويكون لها طبقة خـارجية لزجة للغـاية من لبن عـال التركيز . هـذه الكتـل تكون شحيحة الذوبان .

6. خواص أخرى للمســحوق يمكن أن تؤثر قليلاً على الانتشـــارية- مثلاً ، القوة اللازمة لجذب الجزيئات المجاورة بعيداً عن بعض- أو كثافة الجزيء الذي يحدد ما إذا كانت الجزيئات ســوف تسقط . عادة ، هذه الجوانب ليست محددة .

ولكي نعطي المســحوق خواص الجاهزية ، فإنه يجب أن يتكتل ، ومن المســتحســن أن يكون بطريقة أن قليل من الجزيئات الدقيقة تبقى . وهذا يسـبب توسـيع الثقوب التي يخترقها الماء . وبالتالي يختفي التكتل في الحال وتصــبح قادرة على الذوبان . ومن المهم أن نذكر أن التكتلات تكون قوية بدرجة تمنع تحللها عندما يتعرض المســحوق لقوى خارجية ، أي أثناء التعليب أو الهز Shaking . هذه الخواص تعتمد على الظروف الموجودة في مجفف الطبقة الســائلة (تحت فصــل 5.4.10) . بالإضــافة إلى ذلك ، يجب أن يعطى مســحوق اللبن كامل الدســم بطبقة رقيقة من الليسيثين للتأكد من زاوية تماس صغيرة .

2.5.4.20 عدم الذوبان *Insolubility*

يمكن تقدير عدم الذوبان بطرق مختلفة . في جميع التجارب ، يذاب المســحوق في الماء تحت ظروف قياسية (التركيز ، درجة الحرارة ، والمدة وشـدة التقليب) وبعد ذلك يذوب الجزء الذي لم يتم تقديره (إما حجمياً بعد عملية طرد مركزي أو عن طريق تقدير المادة الصــلبة) . تســمى النتيجة معامل عدم الذوبان Insolubility index . الجزء غير الذائب خصوصاً المادة التي تترسب أثناء عملية الطرد المركزي ، ســوف تتكون من الكازين كمادة ســائدة . في مســحوق اللبن كامل الدسم تجمعات من بروتين متجبن يحصر كريات دهن اللبن (ما يسمى النقط البيضاء) . يمكن أن تطفو على الســطح ، تكون الكمية المســتخدمة عادة أكبر من المترسبة . وعلى ذلك ، يعتمد عدم الذوبان كلياً على الطريقة المستخدمة . توجد بعض الأمثلة في جدول 4.20 .

يكون عدم ذوبانية جزء من مسـحوق اللبن متعلقاً بحرارة التجبن (تحت فصـل 4.2.7) . وبالتالي ، يعتمد المدى الذي يحدث كثيراً على الوقت الذي يتم فيه جفاف المادة عند درجة حرارة عالية وعلى درجة التركيز أثناء التجفيف . العوامل المحددة تم مناقشتها في تحت فصل 5.4.4.10 . وتم تلخيص تأثير بعض متغيرات المنتج والعملية في شكل 24.10 . بالإضافة إلى ذلك ، التسخين المســبق له تأثير : فالتســخين العالي المســبق ← لزوجة أعلى ← قطرات أكبر عند التذرية ←

معاملة حرارية أكثر شـدة أثناء التجفيف ← عدم ذوبان عال . بالنسـبة للبن السـابق تسـخينه ، عادة ما يقتضـي التبخير للحصـول على لزوجة معينة درجة تركيز منخفضـة ، وحرارة تجبن وعدم ذوبان أثناء التجفيف أقل . وأخيراً ، سوف يزيد تجنيس المركز عدم الذوبان (خاصة المصطلح X في تجربة CCF : انظر جدول 4.20) ، ولكن هذا يمكن أن يلاحظ بصـعوبة ، لأن التجنيس عادة

جدول 4.20 بعض أمثلة لعدم ذوبان مسحوق اللبن كامل الدسم ، قدرت بواسطة طرق مختلفة

Table 29.4 Some Examples of the Insolubility of Whole Milk Powder, Determined by Different Methods

CCF			الرواسب بالمليلتر لكل 50 مليلتر لبن معاد تكوينه	عينة المسحوق Powder sample
y	*x*	ZKB	ADMI	
0	0.2	0.04	0.02	1
0.1	2.2	0.04	0.02	2
0.1	2.1	0.07	0.04	3
0.1	1.3	0.04	0.08	4
0.3	2.6	0.04	0.10	5
0.2	1.6	0.12	0.16	6
0.5	2.8	–	1.1	7
0.8	0.9	–	3.4	8

ملاحظة : ADMI بالمليلتر لكل 50 مليلتر لبن معاد تكوينه ، مذاب عند 24 درجة مئوية مع التقليب الشـديد وعملية طرد مركزي ، ZKB : مثل ADMI ولكن عند 50 درجة مئوية و تقليب أقل شـدة . CCF : بالجرامات لكل 30 جرام من المسـحوق ، مذابة عند 20 درج مئوية مع التقليب الخفيف ، وعملية طرد مركزي ، X هي زيادة من المادة الجافة في الطبقة العليا (top layer) ، Y هي زيادة المادة الجافة في الطبقة القاع (bottom layer) .

Note: ADMI: ml sediment per 50 ml of reconstituted milk, dissolving at 24°C with intensive stirring, centrifuging; ZKB: as ADMI, but at 50°C and less intensive stirring; CCF: in grams per 30 g of powder, dissolving at 20°C with gentle stirring, centrifuging; *x* is excess of dry matter in top layer, and *y* the same in bottom layer.

ما يحدث بأي طريقة أثناء التبخير والتذرية . عادة ، يكون عدم ذوبان مسحوق اللبن كامل الدسم أعلى من مسحوق اللبن الفرز . يمكن أن يؤدي تجنيس المركز إلى عدم ذوبان أكبر إذا كانت لزوجته مرتفعة ، زيادة حجم القطرة وبالتالي زيادة وقت التجفيف .

6.4.20 معامل نيتروجين بروتين الشرش *WPN Index*

يمكن أن تسبب المعاملة الحرارية للمنتج الأصلي أو المركز دنترة Denaturation لبروتينات المصل ، إن الظروف السائدة أثناء التجفيف بالرذاذ هي نادراً ما تسبب الدنترة بالحرارة الشديدة . مدى عملية الدنترة هي علامة جودة هامة بالنسبة لاستخدام مسحوق اللبن . فمثلاً ، إذا كان المسحوق معداً للاستخدام في عمل الجبن ، عملياً لا يجب حدوث دنترة لبروتينات المصل بالنظر إلى عملية التنفيح ، في وصفات لبن الرضع ، ومن ناحية أخرى ، يجب أن تكون عملية التنفيح منخفضة .

يمكن أن يستخدم مدى دنترة بروتين المصل كمقياس لشدة الحرارة المستخدمة . وهذا يكون صحيحاً أيضاً عندما تحدث الدنترة بنفسها ولكن ذلك قليل الأهمية ، ولكن قد تحدث تغيرات أخرى متعلقة بالمعاملة الحرارية الشديدة . مثال ذلك نكهة المسحوق المستخدم في عمل لبن الشرب ، والذي يحتاج معاملة حرارية خفيفة . معاملة حرارية شديدة يحتاج إليها لبعض الاستخدامات الأخرى ، فمثلاً ، للحصول على ثبات عالٍ ضد لزوجة عالية للمنتج النهائي عند صناعة الزبادي من اللبن المعاد تكوينه . وتكون أيضاً مطلوبة إذا استخدم مسحوق اللبن في اللبن الشوكولاته ، ومن المفترض ، أن لمنتجات ميلارد مساهمة في نكهته .

عادة ما يستخدم معامل نيتروجين بروتين الشرش (WPN index) في تصنيف مساحيق الألبان طبقاً لشدة المعاملات الحرارية المستخدمة أثناء التصنيع . لهذه النهاية ، يتم تقدير كمية بروتين المصل المدنتر المتبقي في المنتج المعاد تكوينه ، عادة لعمل شرش حامض وتقدير كمية البروتين التي تترسب بتسخين الشرش . وهذا يمكن فعله بواسطة تحليل كيلدال Kjeldahl

analysis لنيتروجين البروتين أو بواسـطة تجربة العكارة الأكثر سـهولة Turbidity test والتي يتم معايرتها على طريقة كيلدال . يعبر عن النتائج ككمية بروتين المصـــل غير المدنتر لكل جرام من مسحوق لبن الفرز . يكون التصنيف كالتالي :

$6 \leq WPN$ مليجرام نيتروجين لكل جرام : حرارة منخفضة .

$1.5 < WPN < 6$ مليجرام نيتروجين لكل جرام ، حرارة متوسطة .

$1.5 \geq WPN$ مليجرام نيتروجين لكل جرام ، حرارة عالية .

تكون صـلاحية التجربة متوسـطة . نتيجة لـــ (1) تم إعادة حسـاب الاختلاف الطبيعي في كمية البروتين القابل للدنترة في اللبن الخام (كمعامل WPN من 6.5 إلى 10) و(2) الإنتاجية المحدودة للتجربة ، جزء أسـاسـي لبروتين المصـل (حتى 40%) يمكن دنترها في مسـحوق تم تصـنيفه على أنه معامل بحرارة منخفضــة ، يمكن في المســحوق المعامل بحرارة عالية حتى 23% بروتين أن يكون غير مدنتر . وبالطبع ، يكون متوسط الصلاحية غير صحيح .

إذا رغبنا في عمل مسـحوق معامل بحرارة منخفضـة Low- heat powder ، فيجب أن (1) نسـتخدم بسـترة منخفضـة (أي 15 ثانية عند درجة حرارة 72 مئوية) (2) نبدأ عملية التبخير من 70 درجة مئوية وليس فوقها (ومن المستحسن أن نبدأ بدرجة حرارة أقل من ذلك) . (3) تبخير اللبن أكثر من اللازم (4) نحافظ على درجة حرارة المركز تحت درجة حرارة 60 مئوية ، (5) نبرد المركز إذا تم حفظه لمدة طويلة . (6) نحافظ على درجة حرارة الخروج outlet أثناء التجفيف بالرذاذ عند مستوى منخفض (7) نخلط الهواء والقطرات في حجرة التجفيف لدرجة عدم حدوث تسـخين زائد محلي للقطرات المجففة . أما إذا رغبنا في تحضـير مسـحوق معامل بحرارة عالية High- heat powder ، فيجب أن يسـخن اللبن بشـدة ، أي لمدة خمس دقائق عند 90 درجة مئوية أو دقيقة واحدة عند 120 درجة مئوية ، عادة مازالت تسـتخدم درجات الحرارة العالية . يسـبب التسـخين

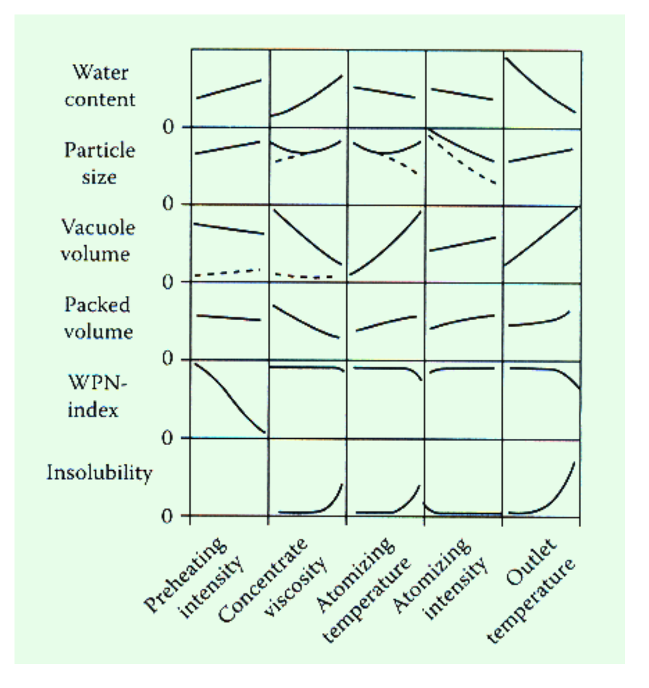
المسبق الأكثر شدة لزوجة عالية للمركز عند نفس محتوى المادة الصلبة (شكل 10.10) مع كل نتائجه (تحت فصل 5.4.4.10) .

7.4.20 النكهة *Flavor*

عادة ما يكون لمسحوق اللبن المذاب نكهة مطبوخة ، والتي تنتج عن مركبات نكهة تتكون أثناء التسخين المسبق ومن المحتمل أثناء التبخير . أثناء التجفيف ، لا تسمح الظروف بتكون نكهات غير مرغوبة . وعلى العكس من ذلك ، يزال جزء معتبر من مركبات كبريتية مهدرجة متطايرة (خاصة H_2S) . عادة ما تنتج نكهة مطبوخة عن كيتونات مثيلية ولاكتونات متكونة بتسخين الدهن (وهي غالباً ما تكون غائبة في مسحوق اللبن الفرز) ومن منتجات ميللارد . إن تغيرات نكهية أثناء التخزين تم مناقشتها في فصل 5.20 .

8.4.20 الخلاصة *Conclusion*

شكل 5.20 يلخص تأثير بعض متغيرات العملية على خواص ستة منتجات مثل هذا الملخص مبسط للغاية ، مثل العلاقة بين متغيرين يمكن أن يعتمد كل منهما على الآخر . فمثلاً ، منحنيات معامل نيتروجين بروتين الشرش (ماعدا المنحنى الموجود في أقصى اليسار) تم رسمها للتسخين المسبق الهين ، وإلا فإنهم سوف يكونون عند مستوى أكثر انخفاضاً . بالإضافة إلى ذلك ، ليس من الممكن أن يختلف فقط متغير عملية واحد . ماعدا في الصف العلوي ، لقد افترض أن الظروف (عادة المركز في حجرة التجفيف) تم ضبطها بطريقة يبقى المحتوى المائي للمسحوق ثابتاً . وهناك استثناء هو درجة حرارة فتحة الخروج ، إذا كان ذلك منخفضاً فإن المحتوى المائي للمسحوق سوف يكون مرتفعاً ، ويتبع ذلك عملية تجفيف زائدة ، فمثلاً في الطبقة السائل . ويجب أن نضيف أن تجفيف المرحلة الثانية يقدم احتمالات زائدة لعمل مسحوق بخواص مرغوبة مختلفة .



شكل 5.20 **تأثير** شدة التسخين المسبق للبن ، لزوجة المركز (إذن ، مدى التبخير) ، درجة حرارة وشدة التذرية (سرعة القرص . الضغط ، درجة حرارة فتحة خروج هواء التجفيف على بعض خواص زذاذ اللبن المجفف . تقريبي للغاية . (---) تشير إلى الظروف التي عندها تتكون بصعوبة الفراغات أو قد لا تتكون إطلاقاً

Figure 20.5 The influence of the intensity of preheating of the milk, of the concentrate viscosity (hence, extent of evaporation), of the temperature and the intensity (disk speed, pressure) of atomization, and of the outlet temperature of the drying air on some properties of spray-dried milk. Very approximate. (---) denotes conditions at which vacuoles develop hardly or not at all

5.20 التدهور ***Deterioration***

المتغير الأكثر أهميـة المحـدد لمعـدل التغيرات غير المرغوبـة في مسـحوق اللبن هو المحتوى المـائي . عنـدما تقـارن الأنواع المختلفـة للمسـاحيق ، يكون من الأسـهـل اعتبـاره النشـاط المائي (a_w) ، كما هو موضـح في شـكل 5.10 . أمثلة للعلاقة بين النشـاط المائي والمحتوى المائي تم توضـيحها في شـكل 3.10 وشـكل 18.10 . تعتمد العلاقة على

مكونات المنتج ، بعض الأمثلة تم توضيحها في جدول 5.20 . كلما ارتفع النشاط المائي لمسحوق اللبن كامل الدسم بالمقارنة بمسحوق اللبن الفرز الذي له نفس المحتوى المائي كلما كان سببه الدهن لا يؤثر على a_w . مسحوق الشرش له a_w مختلف قليلاً عن مسحوق اللبن الفرز لأنه في المنتج الجاف تقلل المكونات الذائبة (خاصة السكر والأملاح) a_w أقل من الكازين . وهذا صحيح فقط ، كلما كان اللاكتوز غير متبلور ، والذي لا يمكن تطبيقه على مسحوق الشرش . توضح بيانات جدول 5.20 أن a_w أقل من الكازين . وهذا صحيح فقط كلما كان اللاكتوز غير متبلور ، والذي لا يمكن تطبيقه على مسحوق الشرش . توضح بيانات جدول 5.20 أن a_w يقل إذا تبلور اللاكتوز دون امتصاص المسحوق للماء (قارن الصفوف 1 و5) ، على الأقل إذا كانت a_w أقل من حوالي 0.5 (انظر شكل b3.10) . يربط اللاكتوز المتبلر الماء بقوة وهذا يفسر لماذا طرق التجفيف في أفران عادية لحساب المحتوى المائي لا يشتمل حجم ماء البلورة . إذا كان محتوى الماء مع استبعاد ماء البلورة تم اعتباره كقاعدة ، وعلى ذلك a_w تكون أعلى للمسحوق الذي يحتوي على لاكتوز متبلور ، قارن الصفوف 1 و6 في جدول 5.20 .

ولذلك ينصح يعمل مسحوق لبن جاف وأن نحافظ عليه في هذه الحالة إذا لم تكن محكمة القفل عن الهواء الخارجي ، فإنها سوف تجذب الماء في أغلب الأجواء . وكلما ارتفعت درجة الحرارة ، كلما ارتفع النشاط المائي ، انظر جدول 5.20 (قارن الصفوف 1 و4) وشكل 19.10 . ولأن تفاعلات عديدة تكون أسرع عند نشاط مائي عالٍ وهذا يقتضي أن ارتفاع درجة الحرارة يمكن أن يسبب تدهوراً سريعاً إضافياً .

يمكن أن يكون التأثير الأخير قوياً إذا فقد المسحوق حالته الزجاجية . يوضح شكل b4.10 أن مخلوط الماء- اللاكتوز سوف تكون عند درجة الحرارة المحيطة في الحالة الزجاجية إذا كان نشاطها المائي أقل من 0.3 . ولأن اللاكتوز هو المكون السائد للمادة غير المتبلورة في جزيئات المسحوق ، اقترح تطبيقها نفس العلاقة للمسحوق والتي تم إثبات صحتها علمياً . وهذا يعني أن أغلب المساحيق اللبنية تكون في الحالة الزجاجية (أي الجزء غير الدهني للمادة) ماعدا إذا

كان المحتوى المائي مرتفعاً ودرجة الحرارة عالية أيضاً . سوف يسرع بقوة تغيير في الظروف المؤدية إلى التحول من الحالة الزجاجية– السائلة . أغلب التفاعلات والتغيرات الفيزيائية الحادثة في المسحوق .

جدول 5.20 النشـاط المائي التقريبي للأنواع المختلفة للمسـاحيق المتكونة بالرذاذ كدالة عن المحتوى المائي وبعض المتغيرات الأخرى

Table 20.5 Approximate Water Activity of Various Kinds of Spray Powder as a Function of the Water Content and of Some Other Variables

المسحوق مصنع من Powder made of	درجة الحرارة Temperature (C°)	حالة اللاكتوز	المحتوى المائي (النسبة وزن/وزن) Water content			
			2	3	4	5
1. اللبن الفرز skim milk	20	غير متبلورة Amorphous				
2. اللبن كامل الدسم Whole milk	20	غير متبلورة Amorphous	0.07	0.13	0.19	0.26
3. الشرش whey	20	غير متبلورة Amorphous	0.11	0.20	0.30	0.41
4. اللبن الفرز skim milk	50	غير متبلورة Amorphous	0.15	0.24	0.33	0.42
5. اللبن الفرز skim milk	20	متبلورة[a] Crystalline	0.02	0.04	0.06	0.12
6. اللبن الفرز skim milk	20	متبلورة[b] Crystalline	0.09	0.16	0.25	0.38

a المحتوى المائي للمسحوق شاملاً ماء البلورة ، اللكتوز متبلور طالما وجد الماء للتبلر

b المحتوى المائي للمسحوق لا يشمل ماء البلورة

a Water content of powder includes water of crystallization; the lactose is crystallized insofar as sufficient water is present for the crystallization.

b Water content of powder does not include water of crystallization.

التدهور الميكروبي والإنزيمي *Microbial and enzymic deterioration*

يكون التدهور الميكروبي والإنزيمي نادر الحدوث في مسحوق اللبن . ولكي يحدث التدهور الميكروبي يجب أن يزيد النشاط المائي a_w عن 0.6 (ولأغلب الكائنات الدقيقة أعلى من ذلك) ، يمكن الوصول إلى مثل هذا المحتوى المائي العالي إذا تعرض المسحوق لرطوبة الهواء . يحدث التدهور في هذه الحالة بسبب الفطر . تمت مشاهدة التحلل المائي الإنزيمي للدهن عند نشاط مائي $0.1 \leq a_w$ ، بالرغم من أن حدوثه يكون بطيئاً للغاية . وطبقاً لذلك ، يجب أن يكون مسحوق اللبن كامل الدسم خالياً من إنزيم الليبيز . يثبط ليبيز اللبن بواسطة البسترة الشديدة للبن كما هو متبع في تصنيع مسحوق اللبن كامل الدسم . وهذا يتم التأكد منه بالنسبة لليبيز البكتيري . وعلى ذلك ، يجب أن تكون بكتيريا كثيرة مكونة لليبيز متواجدة في اللبن الخام . يظهر أن التحلل البروتيني في مسحوق اللبن غير محتمل ، ولم يتم تسجيله .

طبعاً ، يمكن حدوث التدهور الإنزيمي للمنتج السائل المصنوع من مسحوق اللبن إذا وجدت الإنزيمات قبل عملية التجفيف ، لأن التجفيف لا يسبب تثبيط الإنزيمات (انظر تحت فصل 4.4.10) .

عمل الكعكة Caking . ما يجب ملاحظته أولاً عندما يمتص مسحوق اللبن أو مسحوق الشرش الماء من الهواء ، يبدأ تكون الكتل ، تتحول كتلة المسحوق كلها إلى كتلة صلبة (كعكة Cake) . يكون تبلور اللاكتوز مسئولاً ، لأنه يسبب نمو جزيئات المسحوق التي تتكون من اللاكتوز معاً (تتلبد To sinter) . ولأن تبلور الألفا لاكتوز يحتاج إلى الماء ، فإن عمل الكعكة لا يحدث عند a_w منخفض ، ولنقل تحت 0.4 . عند درجة حرارة مرتفعة يمكن أن يحدث التبلور في الحال ، a_w تكون الأعلى ، بالإضافة إلى ذلك ، تنخفض لزوجة محلول اللاكتوز عال التركيز (وخاصة الحالة المستمرة لجزيئات المسحوق) ، مسببة تكون الأنوية ، وبالتالي يتم التبلور بطريقة أسرع .

الحساسية لتكون الكعكة ، خاصة كونها عالية في مسحوق الشرش ، تقل بشكل ملموس إذا تبلور أغلب اللاكتوز قبل التجفيف (في المركز) . هذا المسحوق المسبق تبلوره هو عادة ما

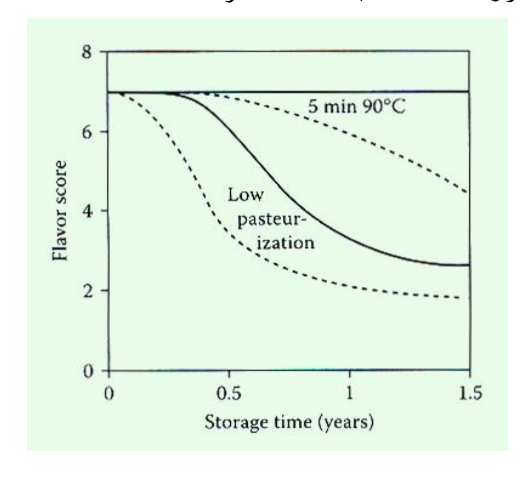
يسـمى "غير ماص للرطوبة" والذي يمكن أن يكون كارهاً للماء Misnomer لأن المسـحوق المعني لا يجذب ماء قليلاً (وهذا يتم تحديده بواســـطة نشـــاطه المائي a_w بالنســـبة لتلك الموجودة في الهواء) ، ولكن النتائج تكون أقل ملاحظة .

تزداد تفاعلات ميللارد مع المحتوى المائي (انظر شـكل 5.10) ومع درجة الحرارة . وتؤدي إلى ظهور اللون البني ونكهة غير مرغوب فيها . تتكون نكهة صـــمغية دائماً أثناء تخزين المنتجات اللبنية الجافة ذات محتوى مائي عال والذي يوصـــف عادة بتفاعلات ميللارد ، يظهر أن المكونات الرئيسية O– أمينو أسيتوفينون . إذا حدثت تفاعلات ميللارد شديدة ، فإنها تكون دائماً مصاحبة بعد ذوبان البروتين . ولذلك يزداد معامل عدم الذوبان عندما يخزن مســحوق اللبن لمدة طويلة عند محتوى مائي عال ودرجة حرارة عالية ، يمكن أن يزداد عند محتوى مائي عادي عدد ADMI إلى 0.5 في ثلاث سنوات .

تشـــكل الأكســـدة الذاتية Autoxidation للدهون وظهور النكهة غير المرغوبة (تالوي Tallowy) مشـكلة صـعبة عند تخزين مسـحوق لبن كامل الدسـم . يزداد معدل الأكسـدة الذاتية بقوة عند انخفاض النشـاط المائي a_w (انظر شـكل 5.10) ، إلا أنه ، لمنع أنواع أخرى من التدهور (خاصـــة تفاعلات ميللارد) a_w يجب أن تكون أكثر انخفاضـــاً كلما أمكن ذلك . Q_{10} الفعلية لتفاعل الأكسـدة الذاتية في مسـحوق اللبن تكون منخفضـة نسـبياً (حوالي 1.5) لأن درجة حرارة أعلى تسبب أيضاً a_w الأعلى .

لكي نحافظ على الأكسدة الذاتية في حدود معقولة لمدة طويلة ، فإن عدداً من الإجراءات يجب أن يتبع (انظر أيضاً تحت فصل 4.3.2) .

1. يجب تسخين اللبن بشدة لكي يكون مضادات أكسدة (انظر شكل 6.20) . المشكلة هي ، طبعاً أن المعاملة الحرارية أيضاً تسبب نكهة مطبوخة معينة .



شكل 6.20 **تأثير** التسخين المسبق وتوهج الغاز ، أما (–) أو (---) لمسحوق اللبن كامل الدسم على النكهة (المقياس من 0 إلى 8) أثناء التخزين عند درجة حرارة الغرفة مع استبعاد الهواء

Figure 20.6 Influence of preheating and of gas flushing, whether (–) or not (---), of whole milk powder on its flavor score (scale 0 to 8) during storage at room temperature under exclusion of air. (Data from E.A. Vos and J.J. Mol, NIZO-Mededelingen M12, 1979)

2. المحتوى المائي للمســـحوق يجب أن يضـــبط أعلى ما يمكن دون أن تســـبب حدوثاً ســـريعاً لتفاعلات ميللارد ، المحتوى المائي المناسب هو عادة من 2.5 إلى 3% .
3. يجب إزالة الأكسجين كلما أمكن (بواسطة توهج الغاز **Gas flushing** ، انظر شكل 6.20) . المشــكلة هي أن الفراغات في جزيئات المســـحوق تحتوي على بعض الهواء . وعلى ذلك ، غاز الأكسجين O_2 . إما أن يحتوي المسحوق بصعوبة على أي فراغات أو توهج غازي يجب أن يعاد مرة أخرى بعد أيام قليلة . تأخذ معادلة الغاز داخل وخارج الفقاعات بالانتشـار عدة أيام في مســحوق اللبن كامل الدســم (عدة أسـابيع في مســحوق اللبن الفرز) . تكون المعادلة أســـرع إذا كانت جزيئات المســـحوق بها عدد كبير من الشـــروخ (انظر تحت فصـــل 1.4.20 و2.4.20) .
4. يجب أن يعبأ المسحوق بطريقة ما تمنع دخول الهواء والضـوء . يقتضـي ذلك عادة ، التعبئة في علب .

5. يجب أن تطبق إجراءات شديدة ضد تلوث اللبن بالنحاس .
6. يجب أن يجري تجنيس شديد للمركز .

ما يسمى "بنكهة التوفي Tofee flavor" يمكن أن تتكون أثناء تخزين مسحوق اللبن كامل الدسم المحتوي على محتوى مائي عال عند درجة حرارة عالية ويمكن أن يكون السبب في ذلك تكون دلتا– ديكالاكتون decalactone– δ ومركبات ذات صلبة في الدهن . المركبات المستخدمة لا تتكون بالأكسدة .

فقد القيمة الغذائية *Loss of nutritive value*

إن فقـد القيمـة الغـذائيـة أثنـاء التخزين يخص فقـد الليســين المتواجـد نتيجـة لتفاعلات ميللارد . لا يسـبب التخزين عند درجة حرارة 20 مئوية عند محتوى مائي عادي فقداً ملموساً ، عند درجة حرارة 30 مئوية ، تم تسـجيل فقد قدره 12% بعد التخزين لمدة ثلاث سنوات . تسبب تفاعلات ميللارد شديدة انخفاضاً في هضمية البروتين وتكون مطفرات ضعيفة .

تؤدي أكسـدة ذاتية عديدة إلى تكون منتجات تفاعل بين الهيدروبيروكسـيد وبقايا الأحماض الأمينية (وتعطي هذه ميثونين سيلفوكسيد Methionine sulfoxide) . وبين مركبات كربونيل و ε– مجوعات أمينو amino groups– ε : يمكن أن يقلل هذا من القيمة البيولوجية للبروتين قليلاً . إن لفقد فيتامين A في مسحوق لبن الفرز المدعم بالفيتامين نتيجة للأكسدة أهمية كبيرة . ويحدث هذا خصوصاً إذا أذيب مستحضر الفيتامين في الزيت ثم يستحلب داخل اللبن الفرز قبل التذرية . عادة ، تكون المستحضرات الجافة المضافة أكثر ثباتاً . ومع ذلك ، فإنه من الصعوبة أن نجنس كمية ضئيلة من المسحوق خلال كتلة كبيرة .

6.20 أنواع أخرى من مساحيق اللبن *Other Types of Milk Powder*

يبدو أن اللبن المجفف بالاسطوانة الدوارة Roller- dried milk مختلفاً كلياً عن المسحوق بالرذاذ ميكروسكوبياً . ويتكون من رقائق ذات حجم متوسط . ونتيجة للمعاملة الحرارية الشـديدة أثناء التجفيف يكون له لون بني ، نكهة مطبوخة قوية ، ينقص الليسين المتاح بـ 20 إلى 50% .

يتكون اللبن المجفف المجمـد من جزيئـات مســحوق كبيرة الحجم ، غير منتظمـة الشـــكل ، خشـــنة ، والتي تذوب بالكامل وبســـرعة . ومع ذلك تُظهر كريات الدهن التحاماً كبيراً ، إلا إذا استخدم تجنيس شديد . في أغلب الحالات ، يكون الهدم نتيجة للمعاملة الحرارية في أدنى قيمة .

مراجع مقترحة ***Suggested Literature*** (انظر أيضاً باب 10)

نظرة عامة على مستوى ابتدائي :

M. Caric'/Concentrated and Dried Dairy Pro ducts, VCH, New York, 1994

خواص منتجات اللبن المجففة :

S.T. Coulter and R. Jenness, in : W.B. Van Arsdell er al., Eds., Food Dehydration, 2nd ed., Vol.2, AVI, New York, pp. 290-346, 1973.

مسح بكتيرولوجي لمساحيق اللبن المجفف بالرذاذ :

J. Stadhouders, G. Hup, and F. Hassing, Neth. Milk Dairy J., 36, 231-260, 1982.

21 مستحضرات بروتينية *Protein Preparations*

نوعيات كثيرة من منتجات غنية من بروتينات اللبن المجففة يتم إنتاجها ، تقليدياً استخدم الكازين المعزول لتصنيع صوف صناعي وأزرار ، ونوعيات من الورق الناعم سهل الكتابة عليه . هذه الاستخدامات قلت كثيراً . والمتبع ، إن الاستخدام الأساسي للأنواع المختلفة للكازين وتحضيرات بروتين الشرش تكون في الغذاء . يمكن أن تكون الأسباب :

1. **تقديم أغذية لها قيمة غذائية معينة** : وهذا يمكن أن يخص منتجات صنعت خصيصاً لمجموعة معينة من الناس ، المثال الأكثر أهمية هي وصفات ألبان الرضع . بروتينات محللة جزئياً Partially hydrolyzed proteins ، أي خليط ببتيدات ، يستخدم للأشخاص الذين يعانون الحساسية لبروتينات معينة . تطبيق آخر هو تعزيز المحتوى البروتيني والجودة الغذائية للمنتج بإضافة تحضيرات بروتينات لبنية ، مثل المشروبات والكعك . انظر أيضاً تحت فصل 5.4.2 .
2. **إحلال بروتينات غالية الثمن** : أغلب البروتينات الحيوانية أغلى من البروتينات ذات الأصل النباتي ، ولكن بروتينات اللبن يمكن أن تكون رخيصة نسبياً ، بالمقارنة ببروتينات بياض البيض . بالإضافة إلى ذلك ، غالباً ما تكون عزل البروتينات النباتية مثل التي تكون نقية بصورة كافية ، بدون نكهة وعاملة Functional (أي ذائبة) ، غالية الثمن ، يمكن أن تحل منتجات الشرش غنية البروتين محل اللبن الفرز في المثلوجات ، الحلوى ، المشروبات ، وبدائل لبن العجل ، ... الخ .
3. **إمداد المنتج بخواص فيزيائية معينة** : وأمثلة ذلك تحضير مستحلب ثابت (مزيج يضاف للسلطة Salad dressings والحلوى) ومنتجات الرغوة (Meringues, Toppings) ،

أو منع عزل الرطوبة والدهن في منتجات اللحوم . وهذا يعني أن البروتينات المستخدمة يجب أن يكون لها خواص وظيفية .

4. **عمل منتجات جديدة** : اتجاه متزايد في الصناعات الغذائية هو إنتاج "أغذية مصنعة Manufactured foods" من مكونات نقية ودائمة . مثال ذلك مبيضات القهوة وناشر مثل الجبن يكسو به الخبز ، ومشابهات اللحوم . وبالطبع ، يمكن أن يكون استخدام تحضيرات بروتينات اللبن جيدة للاستخدام لأكثر من واحد من الأسباب المذكورة .

الثمن والخواص الوظيفية لمستحضرات بروتين اللبن تكون ذات أهمية قصوى لاستخداماتها المحتملة . بالإضافة إلى ذلك ، جودة الحفظ ، النكهة ، أو حتى عدم وجود نكهة (البروتينات النقية تكون عادة بدون نكهة) ، تكون القابلية للانتشار ذات أهمية . جدول 1.21 يعطي أمثلة لمنتجات بروتينات اللبن ومكوناتها بوجه عام .

1.21 التصنيع *Manufacture*

يمكن تجهيز بعض منتجات بروتين اللبن بطرق كلاسيكية مثل الكازين الحامض من اللبن الفرز . يمكن الحصول على بروتينات الشرش مدنترة بالكامل بتسخين الشرش المحمض . قدمت توافر عديد من عمليات الترشيح الغشائي إمكانيات جديدة ، خاصة للحصول على بروتينات غير مدنترة من الشرش (والتي زادت معنوياً من القيمة السوقية لشرش الجبن) . يعطي باب 12 معلومات أساسية لعمليات الترشيح بالغشاء Membrane processing .

يمكن أن تعتمد خواص تحضيرات بروتينات اللبن كثيراً على المعاملة السابقة للبن أو الشرش . المعاملة الحرارية مطلوبة لقتل البكتيريا وتثبيط الإنزيمات . وتسبب أيضاً الدنترة ، وتقلل بالتالي ذوبان بروتينات المصل . أغلب بروتينات المصل المدنترة لها علاقة مع الكازين إذا تم تسخين لبن الفرز . تحدد كفاءة الفصل المحتوى الدهني للمستحضرات . يعتمد هذا المحتوى أيضاً على المدى الذي تغطى به كريات الدهن ببروتينات البلازما ، مسببة تمزيقها أو فقد أغشيتها (نتيجة للضرب في الهواء) . تتبع مثل هذه الكريات الدهنية البروتين أثناء فصله ويمكن

جدول 1.21 أمثلة لتحضيرات غنية ببروتين اللبن ، شاملة مكوناتها التقريبية

Table 21.1 Examples of Milk-Protein-Rich Preparations, Including Their Approximate Composition

الدهن Fat	الرماد Ash	الكربوهيدات Carbohydrate	النيتروجين غير البروتيني NPN[a]	البروتين Protein	مفصول من Isolated from	طريقة التحضير Method of Prepatation	المنتج Product
2	8	0.5	0	83	لبن فرز Skim milk	تنفيح Renneting	كازين المنفحة Rennet casein
2	2.5	0.5	0	90	لبن فرز	حامض Acid	الكازين الحامض Acid casein
2	5	0.5	0	86	لبن فرز	حامض + هيدروكسيد صوديوم	كازينات الصوديوم Na- casinate
1	8	1	4[c]	83[b]	لبن فرز	MF/DF	Phosphocaseinate
1	9	71	1.5	10.5	شرش whey	تجفيف بالرذاذ Spray dry	مسحوق الشرش Whey powder
2	7	51	4	31	Whey	UF	مركز الشرش Wp con centrated
3	4	26	3	57	Whey	UF	Wp concentrate
3	3	1	1	88	whey	UF/DF	WP isolate
2	5	9	?	78	Whey	Heat+acid[e]	Lactoalbumin
2	9	1	?	83	Skim milk	Heat+acid[e]	Coprecipitate

ملاحظة : اختصارات : DF = ترشيح دقيق Microfiltration ، UF = ترشيح فائق Ultrafiltration ، WP = بروتين الشرش Whey protein .

a = X6.38 النيتروجين غير البروتيني ، b = كازين ، C = بروتين غير كازيني

d = يسمى أيضاً بديل للبن الفرز ، e = و/أو كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$

Note: Abbreviations: DF = diafiltration; MF = microfiltration; UF = ultrafiltration; WP = whey protein.

a 6.38 × nonprotein nitrogen.

b Casein.

c Noncasein protein.

d Also called skim milk replacer.

e And/or $CaCl_2$.

أن تزال بصعوبة من المستحضر البروتيني بواسطة طرق التنقية الشائعة . يمكن أن يسببه الفساد البكتيري ونشاط البلازمين تحللاً بروتينياً .

تستخدم مجموعة واسعة من خطوات العمليات ، لتراكم البروتينات ولتركيز وتجفيف المستحضرات . تم وصف بعض عمليات تراكم البروتينات لاحقاً . يتم الحصول على البروتينات إما ككتلة متجبنة أو محلول شبه غروي مشتت . الكتلة المتجبنة عادة ما تعامل بـــ : (1) الغسيل لإزالة المواد المذابة غير المرغوبة ، (2) إزالة الرطوبة بعملية ضــغط ، (3) التجفيف الحراري بأي عمليات متنوعة ، عادة ما تؤدي إلى منتج حُببي ، و(4) طحن الأخير إلى مســحوق دقيق . مكونات المنتج وظروف العملية تحدد ذوبانيته . تركز المســتحضــرات الســائلة عادة بالتبخير أو بالإسموزية العكسية ، يتبعها تجفيف بالرذاذ . عادة ما يكون المسحوق الناتج جيد الذوبان .

عندما نحصل على بروتينات من اللبن الفرز ، تبقى كميات كبيرة من السائل. وهذه تصنع بعد ذلك للحصول على منتجات أخرى يمكن تسويقها ، وخاصة اللاكتوز . وبالرغم من ذلك ، تبقى المواد المسرفة ، هناك مشكلة حاسمة وهي سواء بقيت هذه المنتجات أو تم التخلص منها ، يتطلب الأمر في الحالة الأخيرة ، استخدام طرق تنقية مكلفة .

1.1.21 الكازين ***Casein***

تتم تحضيرات الكازين من اللبن الفرز . ومن المســتحســن أن المعاملة الحرارية للبن الفرز هي أن تصــبح بروتين مصــل قليلة مدنترة . ينتهي البروتين المدنتر في منتج الكازين . الكازين عادة ما يتراكم بجعله غير ذائب . وكما تم مناقشــته في تحت فصــل 4.3.3 ، يميل اللبن الفرز إلى تكون الهلام ، مازال يحتوي على جميع الســائل . لكي نمنع ذلك ، يجب أن يقلب السائل ، مسبباً تكسير الهلام إلى قطع . يجب أن تفقد الأخيرة أغلب سوائلها ، والتي يمكن أن تتحقق عند رفع درجات الحرارة ، والتي تسرع بقوة معدل خروج السائل Syneresis rate (انظر شــكل 12.24) . نتيجة للتقليب والطبخ (cooking) ، يزال أغلب الســائل بعد ذلك من شظايا الهلام .

أنواع مختلفة لتحضيرات الكازين تم عمليها .

1. كازين المنفحة Rennet casein . يصبح الكازين غير ذائب بإضافة منفحة العجل ، يتبعها التقليب عند درجة حرارة تزداد إلى حوالي 55 درجة مئوية . تفصل جزيئات الخثارة الدقيقة المتكونة بواسطة عملية طرد مركزي أو باستخدام منخل متحرك ، تغسل بالماء ، تضغط لإزالة الرطوبة ، ثم تجفف بعد ذلك ، مثلاً في سير تجفيف . يتكون المنتج الناتج من باراكازينات الصوديوم- فوسفات الكالسيوم مع بعض الشوائب . وهي غير قابلة للذوبان في الماء ولها محتوى رمادي عال . وليس بها ببتيد ماكروكازين المنفصل من الكابا كازين بواسطة إنزيمات المنفحة . ومن ناحية أخرى ، وهي تحتوي على جزء من بيبتون البروتيوز .

2. الكازين الحامض Acid casein : يحمض اللبن الفرز ، بينما يستمر التقليب ، مع حامض الهيدروكلوريك ، وحامض اللاكتيك ، أو حامض الكبريتيك ، حتى أس هيدروجيني متساوي الجهد الكهربي Isoelectric pH للكازين (4.6) يتم الوصول إليه . يكون الكازين عندئذ غير ذائب . تكون درجة الحرارة المستخدمة حرجة للغاية . تتكون عند درجة حرارة عالية كومات كبيرة ، والتي تكون صعبة الجفاف ، تسبب درجة الحرارة المنخفضة راسباً دقيقاً كبير الحجم والذي يكون صعب الفصل . درجة الحرارة المثلى هي حوالي 50 درجة مئوية . تستمر العملية كما وصفت لكازين المنفحة . مثالياً ، يحتوي التحضير على كل الكازين وليس فوسفات الكالسيوم شبه الغروية . يمكن أن ينقى الكازين بذوبانه في القلوي وإعادة ترسيبه ... الخ . يكون الكازين الحامض غير ذائب في الماء ، يكون المنتج الجاف شحيح الانتشار في المحاليل القلوية لتكون الكتل الدائمة .

3. الكازينات Caseinates : يمكن أن يذاب الكازين الحامض المترسب في القلوي (مثل Na OH ، K OH ، NH_4OH ، $Ca(OH)_2$ ، و $Mg(OH)_2$) ، ويمكن أن يجفف المحلول الناتج بالرذاذ . كازينات الصوديوم هي المنتج الشائع . تفضل كازينات البوتاسيوم في بعض الأوقات لأغراض غذائية . كازينات الكالسيوم لها خواص كيموفيزيائية مختلفة عندما

تقارن بكازينات البوتاسيوم والصوديوم . هذه المنتجات يمكن أن تكون جيدة الذوبان في الماء وليس لها نكهات- إذا كان الأس الهيدروجيني ليس مرتفعاً عن 7 . مجموعة من الأس الهيدروجيني المرتفع ودرجات الحرارة المرتفعة سوف تؤدي إلى تكوين بعض ليسينوآلانين Lysinoalanine ، والذي يكون غير مرغوب فيه (انظر تحت فصل 2.2.7) .

4. كازين جسيمي Micellar casein : ويمكن الحصول عليه من اللبن الفرز بواسطة ترشيح دقيق ، يسمى المنتج عادة فوسفوكازينات Phosphocaseinate عندما نستخدم غشاء حجم ثقوبه 0.1 ميكرومتر ، يمكن حجز أغلب الكازين (إلا إذا لم تكن درجة حرارة الفصل منخفضة ، شكل 20.3) ، بينما يمكن أن تمر كل بروتينات المصل خلال الغشاء . يستخدم الترشيح المزدوج Diafiltration بالماء لإزالة المواد الذائبة . الجسيمات التي يتم الحصول عليها لها خواص شبيهة بجسيمات الكازين الطبيعية ، أيضاً بعد التجفيف والانتشار في رشيح لبن الفرز . في الوقت الحاضر ، تستخدم فوسفوكازينات Phosphocaseinate بصورة أولية في التجارب البحثية .

2.1.21 بروتين الشرش *Whey Protein*

تستخدم كميات كبيرة من الشرش للحصول على تحضيرات بروتينية ومنتجات أخرى. ويجب أن نتذكر أن الشرش يمكن أن يختلف في التركيب . الأنواع الرئيسية هي :

- الشرش المتحصل عليه من صناعة الجبن التقليدية . بجانب المكونات الذائبة للبن فهو يحتوي على :

الكازينوماكرو بيبتيد المنفصل عن الكاباكازين ، إنزيمات المنفحة النشطة ، بادئ بكتيري تم إنتاجها ، ويمكن إنتاج حامض لاكتيك إضافي من اللاكتوز ، حيث ينخفض الأس الهيدروجيني وبعض الدهن الكروي أي 0.3% والذي عادة ما يتم إزالته من قبل بواسطة فصل الطرد المركزي .

تختلف حموضة الشرش كثيراً من نوع الجبن المصنع . بالإضافة إلى ذلك يمكن أن يخفف جزء من الشرش بالماء و/أو المحتوى على بعض النيترات المضافة .

- الشرش المحتوي على كلوريد صوديوم عالي . وهذا يخص ، مثلاً ، جزء صغير من الشرش الناتج عن صناعة الجبن من النوع شيدر (انظر تحت فصل 1.4.27) .
- الشرش الناتج عن تصنيع كازين المنفحة ، انظر تحت فصل 1.1.21 . يكون هذا الشرش منخفضاً في محتوى الدهن ولا يحتوي على بادئ بكتيري ، أو حامض لاكتيك . من ناحية أخرى . فهو يشبه شرش الجبن .
- الشرش الناتج من تصنيع الكازين الحامض (تحت فصل 1.1.21) . محتوى الدهن منخفض ولا يحتوي على منفحة أو ببتيد ماكروكازين . يكون الأس الهيدروجيني حوالي 4.6 ويحتوي على كميات متزايدة من الكالسيوم والفوسفات (انظر شكل 7.2) .
- الراشح المتحصل عليه بواسطة الترشيح الدقيق للبن الفرز (المذكور عاليه) . بالرغم من أنه ليس شرشاً . فهو يشبه في المكونات لمصل اللبن ، بالرغم من احتوائه على كازين قليل . إلا أنه خالٍ من كريات الدهن .

في جميع الحالات ، يتكون حوالي نصف البروتين في شرش اللبن من بيتا-لاكتوجلوبيلين ، وتميل خواصه إلى أن تسود على منتجات بروتين الشرش . إلا أن الفرق في مكون البروتين بين الأنواع المختلفة للشرش سوف تنعكس في تحضيرات بروتين الشرش ، ويمكن أن تؤثر معنوياً على بعض الخواص .

أنواع عديدة من تحضيرات البروتين تم الحصول عليها من الشرش . وسوف يتم مناقشة الأنواع الأساسية باختصار .

مركز بروتين الشرش Whey Protein Concentrate (WPC) . يستخدم الاسم عادة لتحضيرات تحتوي من 35 إلى 80% "بروتين كلي" . وكما ذكر في جدول 1.21 . بروتين النيتروجين الكلي الذي يحتوي على NPN يعتمد على ظروف التحضير ، ويعتمد أيضاً على نوع

الشرش المستعمل . عادة ما تسمى التحضيرات ذات محتوى بروتيني منخفض "بدائل لبن الفرز Skim milk replacers" . يكون المكون العام مشابهاً لمكون اللبن الفرز ، بالرغم من أن المكون البروتيني مختلف جداً بالطبع .

تقليدياً ، يصنع مركز بروتين الشرش من شرش منزوع اللاكتوز ومنزوع الملح . وتبدأ العملية بتركيز الشرش لحوالي العشر بالتبخير ، الحصول على بلورات اللاكتوز . السائل الرئيسي ينزع ملحه بطريقة أو بأخرى (انظر فصل 4.12) . يعطي تجفيف المحلول المتبقي مركز بروتين الشرش . عادة ما تكون نسبة كبيرة من النيتروجين NPN ، أكثر من 20% .

لكي نحصل على تركيز أعلى من البروتين ومنتج أنقى ، عادة ما يستخدم الترشيح الفائق . انظر جدول 2.12 لتأثير بعض المتغيرات على السائل الناتج . ولكي نحصل على منتجات أعلى نقاوة يمكن تطبيق الترشيح المزدوج .

السائل عادة ما يجفف بالرذاذ ويمكن أن يكون مسحوق مركز بروتين الشرش الناتج عالي الذوبان . إن جزء البروتين الذي لا يذوب لأنه حدثت له دنترة بالحرارة يعتمد كثيراً على الأس الهيدروجيني ونشاط أيونات الكالسيوم Ca^{2+} أثناء التسخين (شكل 1.21) يحتاج إضافة أملاح الكالسيوم بعد التسخين إلى تركيزات أعلى من Ca^{2+} لكي نجعل البروتين غير ذائب .

معزول بروتين الشرش (WPI) . يطلق هذا الاسم على تحضيرات بها 90% أو أكثر للمادة الجافة تتكون من بروتين الشرش . من المفضل ، أن يكون الشرش المستخدم لتصنيعه نقياً نسبياً، ومن المستحسن أن نستخدم ترشيحاً دقيقاً لراشح لبن الفرز . يمكن أن يصنع معزول بروتين الشرش مثل WPC ، بواسطة الترشيح الفائق ، على الأقل تكون خطوة واحدة من الترشيح المزدوج ضرورية .

إن عمليات أخرى عديدة تم تطويرها ، وسوف نذكر مثالاً واحداً منها . تشمل هذه التبادل الأيوني في مفاعل ذو الطبقة المقلبة Stirred- bed reactor . يتم تحميض الشرش إلى أس

هيدروجيني 3.2 ، حيث يكون البروتين المتواجد موجب الشحنة . يكون صمغ المبادل الأيوني على هيئة حبيبات مسامية سالبة الشحنة . وعلى ذلك ، فإن البروتين يحدث له امتصاص والسائل يمكن أن يطرد عبر ثقوب منخل . تضاف القاعدة بعد غسل الحبيبات ، إلى أن يصبح الأس الهيدروجيني حوالي 8 ، ويؤدي هذا إلى إعادة امتصاص البروتين عندما تكون المادة الخام راشحاً تم الحصول عليه بالترشيح الفائق فإن البروتين لا يحتوي على ببتيدماكروكازين . يتكون البروتين من 80% بيتا لاكتوجلوبيلين و15% ألفالاكتالبيومين ، ويحتوي على قليل من بروتينات المصل أخرى . تسرع هذه المكونات بصورة ملموسة خواص تكون الهلام . بجانب أن البروتين يكون خالياً من الدهون ، والتي تكون ميزة عندما نستخدمه لتكوين الرغوة .

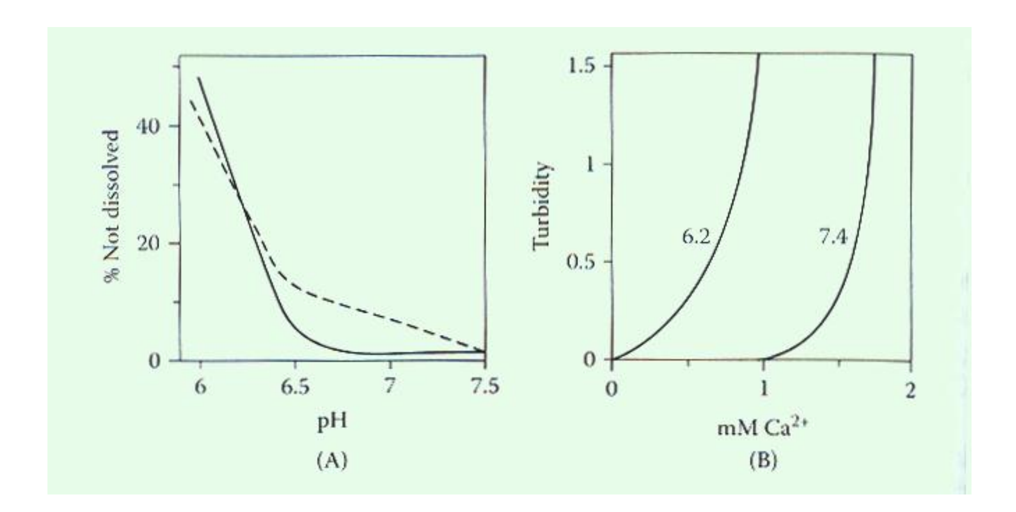
لاكتالبيومين Lactalbumin . عند تسخين شرش الجبن الحامض يترسب البروتين (انظر شكل 1.21) ويتم استعادته . ويتضح أن الراسب يكون غير نقي . ويتم ضغطه ، وعادة يملح ، وفي بعض الحالات يترك لينضج . وهذه هي جبن الشرش "Whey cheese" أي ريكوتا Ricotta أو زيجير Ziger . يمكن أن تستخدم عملية مشابهة للحصول على بروتين شرش مدنتر عادة ما يضاف كلوريد الكالسيوم بجانب حامض . يغسل الراسب المتحصل عليه ويجفف ، في مجفف أسطواني . يسمى البروتين المحضر لاكتالبيومين (ولا يجب الخلط بينه وبين بروتين المصل الفالاكتاليبومين) . ولا يحتوي على ببتون بروتيوز ، ببتيد ماكروكازين ، أو NPN .

محتوى اللاكتوز العالي وبطء التجفيف هما نتيجة لتفاعلات ميلارد الشديدة . اللاكتالبيومين يكون غير ذائب في الماء .

3.1.21 منتجات أخرى *Other Products*

قليل من منتجات بروتينية أخرى كثيرة سوف تذكر هنا .

كوبريسبيتات Coprecipitate : ويصنع من اللبن الفرز أو لبن الزبدة بنفس طريقة صناعة "اللاكتولبيومين" . تفصل أغلب بروتينات لبن الفرز ، ماعدا الببتون بروتيوز ، في حالة غير ذائبة .



شكل 1.21 ذوبانية البيتا- لاكتوجلوبيلين (-) وبروتين الشرش النقي (---) كدالة عن الأس الهيدروجيني وتركيز الكالسيوم الذائب أثناء التسخين لمدة 10 دقائق عند 80 درجة مئوية . (A) جزء من البروتين الذي يمكن أن يفصل بواسطة الطرد المركزي ، تركيز منخفض للكالسيوم (B) عكارة 1% لمحاليل كمقياس لتجمع البروتين ، مقياس هو الأس الهيدروجيني . نتائج تقريبية

Figure 21.1 Solubility of β-lactoglobulin (–) and of purified whey protein (---) as a function of the pH and the concentration of dissolved calcium during heating for 10 min at 80°C. (A) Part of the protein that can be separated centrifugally; low Ca concentration. (B) Turbidity of 1% solutions as a measure for the protein aggregation; parameter is the pH. Approximate results. (Adapted from J.N. de wit, *Neth. Milk Dairy J*., 35, 47, 1981)

ومع ذلك ، فالبروتين يكون سهل الهضم ، وله قيمة غذائية عالية ، تحتوي أغلب التحضيرات على كالسيوم مرتفع . كوبريسيبيتات Coprecipitate يمكن أن تحتوي على منتجات ميللارد أقل من اللاكتالبيومين لأن محتواها من السكر منخفض . يمكن أيضاً أن يترسب أغلب بروتين اللبن الفرز بإضافة الإيثانول والتسخين إلى درجة 90 مئوية .

البروتينات المنفصلة Separate proteins : يمكن الحصول عليها على مقياس صغير بواسطة عدة طرق بما فيها ترشيح الهلام ، عمود الفصل الكهربي ، أنواع مختلفة للفصل الكروماتوجرافي

...الخ . عدد من البروتينات تم الحصــول عليها من اللبن ، أيضـــاً بروتينات قليلة مثل لاكتوفيرين، لاكتوبيروكســـيديز ، جلوبيلينات مناعية ، تســـتخدم في بعض الأغراض الصـــيدلانية وأعمال التجميل . تدعيم وإثراء بعض البروتينات تم تحقيقها ، فمثلاً ، تبقى عند تطبيق الترشـــيح الفائق لمحلول كازينات الصـــوديوم عند درجة 4 مئوية (انظر شـــكل 20.3) أغلب الألفاكازين (أي $\alpha_{S1} + \alpha_{S2} + K$) في شـــكل جســـيمات ويتم حجزها . تتحلل كثير من البيتاكازين عند درجة 4 مئوية (انظر شـكل 20.3) وتعبر الغشـاء . بتسـخين السـائل إلى درجة حرارة 45 مئوية والترشـيح الفائق له مرة ثانية ، ويتراكم بيتا كازين في الراسب Retenate .

تعديل البروتينات Modification of proteins : وهذا ينحصر في تحللها المائي الجزئي. التحلل المائي الكيميائي باستخدام الحامض والقلوي ، ويستخدم التحلل المائي الإنزيمي . يمكن أن يستخدم التحلل المائي الجزئي للكازين في نواتج الرغوة ، وخاصة إذا كان سائل الرغوة عالي اللزوجة . يمكن استخدام التحلل المائي الإنزيمي الموجه– للمكان ، مثل تحضيرات غنية بالبيتا لاكتوجلوبيلين لكي نحصل على ببتيدات لها خصائص أقل في إحداث الحساسية .

2.21 خواص وظيفية *Functional Properties*

إن الخواص الوظيفية لمادة هي قدرتها لإنتاج خاصـــية معينة في المنتج الذي تســـتخدم فيه المادة . يمكن أن تنتج البروتينات قيمة غذائية وعدداً من الخواص الكيموفيزيائية . ســـوف تؤخذ الخاصـــية الأخيرة في الاعتبار هنا . يعتمد التفضـــيل الوظيفي للبروتين أولاً على تركيبه الجزيئي وتركيزه ، ولكن أيضـــاً على متغيرات أخرى عديدة . مكونات التحضـــير البروتيني هو واحد من الجوانب : أي بروتينات تكون موجودة ، إلى أي مدى تم تعديل هذه البروتينات أثناء التحضـــير (دنترة ، تحلل بروتيني ، الروابط العرضـية و... الخ) ، وما هو التركيب الإضـافي . يعتمد التفضـيل على بيئة البروتين أثناء اســـتخدامه : درجة الحرارة ، الأس الهيدروجيني ، القوة الأيونية والمكون ، نوعية المذيب ، وجود المركبات ، شاملة الإنزيمات التي يمكن أن تحور كيميائياً البروتين ، ... الخ .

إن مجموع ما كتب عن هذه الموضـوع يعطي تقسـيمات مختلفة للوظائف الكيموفيزيائية ، ومؤلفون مختلفون يعتبرون الجوانب المختلفة هامة للغاية . يظهر الخلط الرغبة في الحصـــول على تجارب بســـيطة قليلة لتقدير تفضـــيل البروتينات . ومن ســـوء الحظ ، لا تؤدي النتائج عادة إلى اكتســـاب الخبرة العملية . يمكن أن يرجع هذا إلى أن الوضـــع أثناء اســـتخدام البروتين لا يكون بسيطاً. فمثلاً ، يمكن عادة أن تُعرض عدد من التأثيرات المنفصلة. والتي تعتمد على تركيب البروتين وعلى الظروف البيئية . وما يعتبر خاصـية واحدة يمكن أن تلاحظ على أنها سـلسـلة من الخواص طبقاً لتطبيقات مختلفة للمستهلك . أمثلة سوف نذكرها في النص التالي .

وســـوف يتم في هذا الفصـــل باختصـــار مناقشـــة ، بعض المجموعات لخواص وظيفية أساسية . تكون القائمة شاملة . ويجب أن نذكر أن الموضوع ضخم ومعقد وأن جوانب قليلة فقط لكل واحدة من الوظائف يمكن أن تناقش .

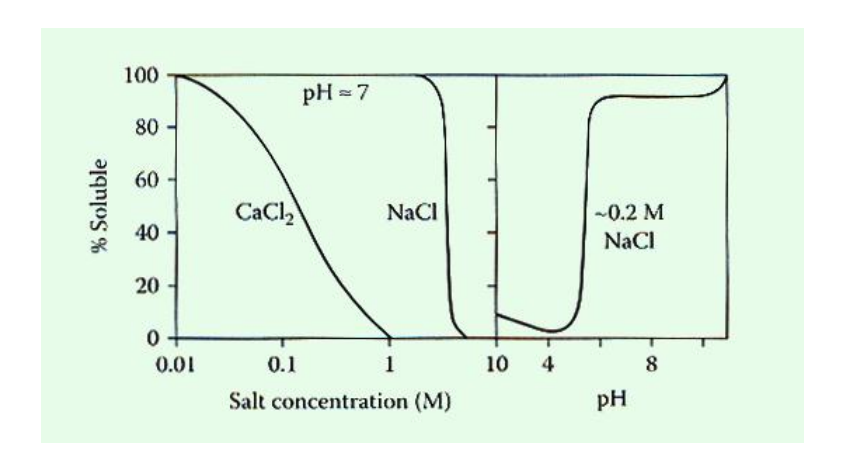
1.2.21 خواص السائل ***Solution Properties***

كازين المنفحة ، اللاكتالبيومين وكوبريسيبيتات Coprecipitate هي تحضيرات غير ذائبة في الماء وتوضـع في منتجات شبه صـلبة مثل البسـكويت . ويمكن أيضـاً أن تسـتخدم لعمل منتج مشـــكل في باثق أو في مجفف دوار . يجب أن يذاب البروتين المســـتخدم في أغلب المنتجات الأخرى . عادة ، الذوبانية ليســـت خاصـية وظيفية ولكنها متطلب لخواص وظيفية أخرى . انظر أيضاً تحت فصل 5.4.20 .

1.1.2.21 الذوبانية ***Solubility***

ذوبان البروتينات تمت مناقشته في تحت فصـل 4.1.4.2 . بروتين اللبن (ماعدا البروتينات الموجودة في غشــاء كريات الدهن) تكون جيدة الذوبان عند ظروف فســيولوجية ، ولكن ليس كل الظروف الأخرى . الأخيرة تم توضـيحها للكازين في شـكل 2.21 ، والتي تكون غير ذائبة بالكامل

عند IEP وأيضاً عند قوة أيونية منخفضة . تبقى بروتينات المصل ذائبة عند نقطة تساوي الجهد الكهربي IEP ، ولكن بطريقة أقل ، كما هو موضح للبيتا لاكتوجلوبيلين في شكل b23.2 .

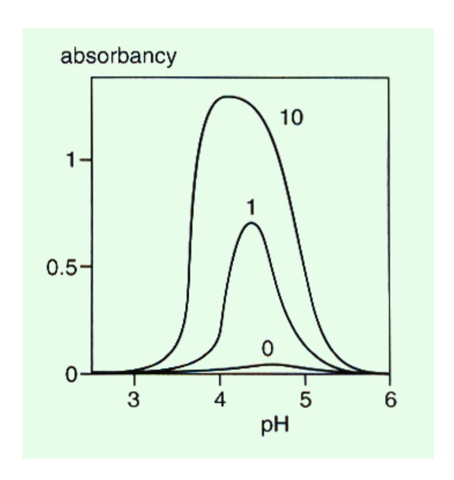


شكل 2.21 ذوبانية كازينات الصوديوم (3% في الماء) كدالة على تركيز الملح والأس الهيدروجيني

Figure 21.2 'Solubility' of Na-caseinate (3% in water) as a function of salt concentration and pH

إلا أن ذوبان تحضيرات البروتين عادة ما تعني شيئاً مختلفاً لكي نقيس هذه الذوبانية ، يتم نشر المستحضرات في محلول منتظم . يقلب المخلوط بعد ذلك بطريقة قياسية . ويتم تحديد الجزء من البروتين الذي لم يترسب في تجربة طرد مركزي. 50% ذوبانية يعني أن نصف البروتين يذوب في حجم قليل من المادة المذابة . بينما يكون الباقي غير ذائب ، وبمعنى آخر ، سوف لا يسبب التخفيف ذوباناً زائداً للبروتين بعد ذلك . إذا كانت النتيجة سوف تمثل ذوبان حقيقي ، ومع ذلك ، سوف يذوب كل البروتين إذا استخدمت ضعف كمية المذيب . عملياً ، يكون الوضع متوسطاً .

إن الأساس المنطقي للتجربة هو أن هذه التحضيرات عادة تتكون من مخلوط بروتين جيد الذوبان وآخر قليل الذوبان ، ويرجع ذلك إلى أن جزءاً منه تم دنترته . ومع ذلك فالنتيجة تعتمد كثيراً على ظروف التجربة ، مثل الوقت وشـــدة عملية الطرد المركزي . طريقة أخرى لتقدير تجمع البروتين الناتج عن الدنترة هو تحديد عكارة التشــتت . مثال لبروتينات الشــرش تم توضــيحها في شكل 3.21 .



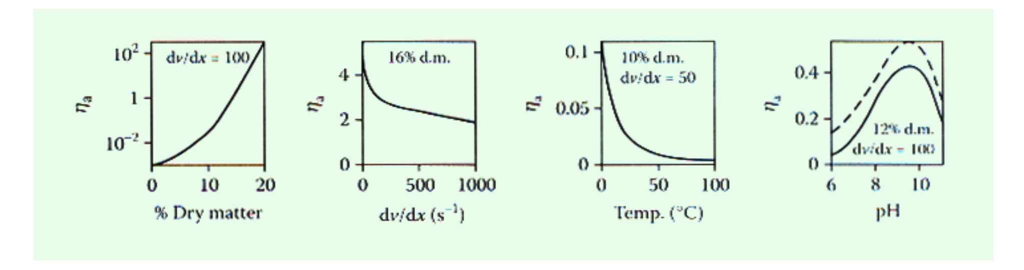
شكل 3.21 العكارة (معبراً عنها بالامتصاصية) لمحاليل معزول بروتين الشرش ، المسخن عند درجة حرارة 70 مئوية لمدد مختلفة من الوقت (محددة بالدقيقة) ، كدالة عن الأس الهيدروجيني

Figure 21.3 Turbidity (expressed as absorbancy) of solutions of a whey protein isolate, heated at 70°C for various times (indicated, in minutes), as a function of pH. (Adapted from results by H. Zhu and S. Damodaran, *J. Agr. Food Chem*., 39, 1555, 1988)

2.1.2.21 اللزوجة *Viscosity*

جوانب عامة للزوجة محاليل ومشـــتقات Dispersions تمت مناقشـــتها في تحت فصـــل 1.7.4 . يتضـــح من هذه المناقشـــة أن محاليل البروتينات الكروية لا تنتج لزوجات عالية ،

إلا إذا كان تركيز البروتين عالياً جداً . وهذا ما تمت ملاحظته في محاليل بروتينات الشـــرش . تســـبب حرارة الدنترة عدم انثناء Unfolding وتجمع البروتينات ، وكلاهما يؤديان إلى زيادة اللزوجة ، تعتمد النتائج كثيراً على عدة ظروف . تميل جزيئات الكازين ، من جهة أخرى ، إلى عدم الانثناء إلى حد ما في المحلول ، حيث تزداد اللزوجة بشـــكل زائد (بالرغم من أنها ليســت أكثر قوة من ســكريات عديدة أخرى) . أمثلة تم توضـــيحها في شـــكل 4.21 . من الملاحظ أن النتائج تعتمد معنوياً على معدل الشـــير the shear rate ، وعلى ذلك ، تم تقدير لزوجات ظاهرية . أعطت كازينات الصــوديوم نتائج منخفضـــة عن كازينات الصــوديوم أخرى لها نفس التركيز والقوة الأيونية . تميل اللزوجة إلى الزيادة بشكل واضح عند محتويات ملحية عالية ، من الواضـــح أن عاملاً هاماً في إحداث اللزوجة العالية هو تجمع الجزيئات بواســـطة تداخلات الكتروستاتيكية وكارهة للماء .



شكل 4.21 اللزوجة الظاهرية ($S.P_a.\eta_a$) لسوائل كازينات الصوديوم في الماء (–) أو 0.2 مولر كلوريد الصوديوم (–– –) ، عند أس هيدروجيني يساوي 7 وفي درجة حرارة الغرفة ، إلا إذا ذكر غير ذلك . $d_v / d_x =$ معدل الشير (ثانية$^{-1}$)

Figure 21.4 Apparent viscosity (η_a, Pa . s) of solutions of Na-caseinate in water (–) or 0.2 M NaCl (---), at pH ≈ 7 and room temperature, unless stated otherwise. d*v*/d*x* = shear rate (s^{-1})

2.2.21 الهلام *Gel*

الهلام له تركيب يتكون من شبكة مملوءة بالفراغ من أشرطة من جزيئات صغيرة أو جزيئات بوليمرات ، تحصر كمية كبيرة من السائل . بمصطلحات ريولوجية ، الهلام هو جسم صلب طري مطاط لزج مرن .

الخواص الوظيفية : خاصـــية وظيفية هامة لبروتينات اللبن هي أنها يمكن أن تســـتخدم لعمل الهلام . تعرف القدرة عامة بقيمة معامل الشـــير المطاطي G الناتج (G تســـاوي الضـــغط الحادث مقســـوماً على تشـــوه الشـــير الناتج ، طالما كان الأخير ضـــئيلاً) . ومع ذلك عادة ما يســتخدم الهلام في أوضـــاع يتواجد فيها تشـــوهات كبيرة و/أو تكثر بها الكســـور ، خاصـــة أثناء الأكل . تعتمد الوظيفية على قيم الضغط والشد عند الكسر ، المحدد عند معدل شد يتواجد عملياً (جوانب أساسية نوقشت باختصار في تحت فصل 1.6.25) . لسوء الحظ ، مثل هذه الدراسات قليلاً ما تنجز .

الهلام يمكن أن يصنع أيضاً لكي يمنع حركة السائل في الهلام . (كما ذكر في تحت فصل 4.1.4.2) ، جزء صـــغير جداً من الماء يمكن أن يعتبر مرتبطاً) . وعلى ذلك فإن الوظيفية تعتمد على النفاذية B للهلام (انظر المعادلة 1.24) . قيم B الأصـــغر يتم الحصـــول عليها في هلام ذات ثقوب صغيرة ، وعلى ذلك ، يكون له أشرطة أرفع وتركيز بروتيني أعلى . خاصة أخرى هامة للهلام هي الثبات ، خاصة ضد الكرمشة shninking ، والذي يعني وجود مواد منشطة طاردة للسائل .

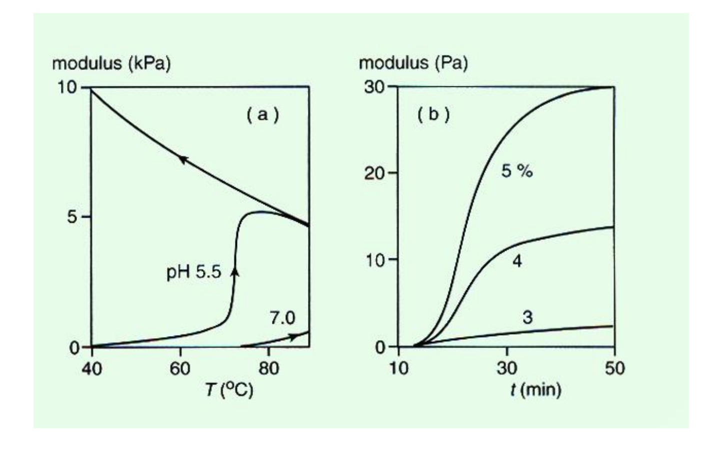
هلام الكـازينـات Caseinate Gels : في تحـت فصـــــل 4.3.3 ، هلام اللبن الفرز تم مناقشـــته بالتفصـــيل . النتائج المتحصـــل عليها من الهلام الحامض وكذلك للهلام الحامض المصـــنوع من كازينات الصـــوديوم . يمكن أن يصـــنع هلام المنفحة من كازينات الكالســـيوم ، ولكن هذا لا ينتج في التطبيق العملي . يكون الهلام ضـــعيفاً للغاية وعرضـــه لتنشـــيط شـــديد إلا إذا حفظ مبرداً . يمكن أن يحدث للكازين الحامض الناتج تنشـــيط عند درجة حرارة فوق 30 درجة مئوية .

هلام البروتين الشرش Whey Protein Gels : إذا سخن محلولاً مثل بيتا لاكتوجلوبيلين فإن الهلام يتكون والذي يزداد بالتالي معامله . عملية التحول إلى هلام غير عكسية وعند التبريد لا يتحلل الهلام ، وحتى فإنه يزداد في المعامل ، هذه الأحداث تم توضيحها في شكل a5.21 .

يكون هذا السلوك نموذجياً لكثير من البروتينات الكروية . تحدث عند درجة حرارة مرتفعة دنترة للبروتين وبذلك يصبح ذوبانه ضعيفاً . ويكون تجمعات ، وهذه تكون الهلام . تتكون روابط عرضية بين الجزيئات في شكل قنطرة ‎-S-S-‎ . وهذا يحدث خاصة مع بيتا-لاكتوجلوبيلين ، والذي عنده مجموعة كبريت مهدرجة ‎-SH‎ . ومع ذلك ، فالبروتينات الكروية الأخرى تشارك في عملية تكوين الهلام ، حيث لا يوجد ببتيد ماكروكازين وببتون بروتيوز .

حسب الظروف الكيموفيزيائية ، تتكون هلامات من تراكيب مختلفة عند أس هيدروجيني 7 وقوة أيونية منخفضة (mM10) ، الهلامات تراكيب دقيقة ، تكون الأشرطة طويلة ورقيقة ، أي 30 نانومتر . ويلاحظ أن هذا يكون 5 مرات قطر الجزيء . تكون درجة حرارة الهلام ومعدله مرتفعة نسبياً وبطيئة على التوالي . يكون الهلام رائق ، ومعامله منخفضاً نسبياً . ويكون قابلاً للتشويه بقوة (شد كبير على الشرخ) . تتكون هلامات خشنة بالقرب من الأس الهيدروجيني متساوي الجهد الكهربي وعند قوة أيونية مرتفعة (M0.2) ، Coarse gels ، تشبه جزيئات الهلام المعتادة . تكون الجزيئات مستديرة ولها حجم حوالي ميكرون واحد . تكون هذه الهلامات عكرة . يكون المعامل مرتفعاً نسبياً ، وتكون هشة . في ظروف متوسطة ، تتكون هلامات من النوع المتوسط . يؤثر معدل التسخين أيضاً على خواص الهلام .

يعطي شكل 5.21 أمثلة لخواص هلام بيتا-لاكتوجلوبيلين . وتكون هذه قابلة للمقارنة وبالتالي ليست متماثلة ، هلامات بروتين الشرش . لاحظ أن تركيزات بروتين عالية تكون ضرورية للحصول على هلامات صلبة .



شكل 5.21 تكون هلام محاليل بيتا لاكتوجلوبيلين . (a) معامل الشير كدالة على درجة الحرارة . التسخين والتبريد (المعدلات غير معروفة) لمحلول 10% عند أس هيدروجيني قدره 5.5 ، الأسهم توضح التتابع التسخين عند أس هيدروجيني 7.0 تم توضيحه . (b) معامل الشير كدالة على الوقت . تسخين المحاليل من تركيزات مختلفة (المبينة) إلى 90 درجة مئوية في 15 دقيقة ، بعد هذا يحافظ على درجة الحرارة ثابتة . الأس الهيدروجيني 7.0 ، 0.34 مولر كلوريد الصوديوم

Figure 21.5 Gelation of β-lactoglobulin solutions. (a) Shear modulus as a function of temperature. Heating and cooling (the rates are not known) of a 10% solution at pH 5.5; arrows indicate the sequence. Heating at pH 7.0 is also shown. (b) Shear modulus as a function of time. Heating of various concentrations (indicated) to 90°C in 15 min, after which the temperature was kept constant. pH 7.0, 0.34 M NaC

ظاهرة أخرى هي تكون الهلام البارد . إذا سخن محلول بروتين الشرش عند أس هيدروجيني فوق 7 وقوة أيونية منخفضة جداً ، تحدث تجمعات قليلة ولا يحدث تكون للهلام إذا حمض المحلول بدون تقليب (يمكن أن يحدث هذا بإضافة لاكتون متحللة ببطء) ، ويتكون الهلام .

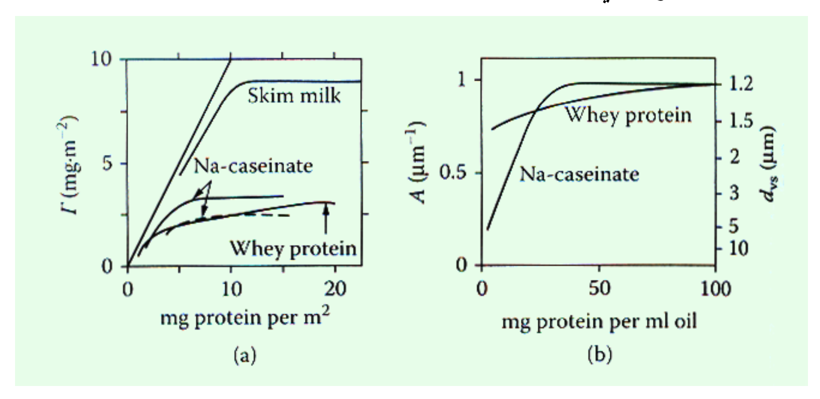
3.2.21 المستحلبات *Emulsions*

تستخدم بروتينات اللبن عادة في المساعدة في عمل مستحلبات الزيت في الماء ولتثبيتها ضد التغيرات الفيزيائية . يقتضي هذا عدداً من الخواص الوظيفية . تستخدم عادة ، طرق بسيطة لإنتاج "معامل نشاط مستحلبي Emulsifying activity index" . ولا يكون لهذه التجارب

معنى إلا إذا كانت الظروف المعملية ، وخاصـــة التجنيس تحاكي الوضــع التطبيقي العملي . من المستحسن ، أن تؤخذ الجوانب التالية في الاعتبار كل على حدة .

1. الحمـل البروتيني Protein load : يمكن التعرف على طبقـة البروتين المتكونـة حول قطرات الدهن بواسـطة كتلة البروتين لكل وحدة مسـاحة سـطح الزيت . يحدد هذا الحمل السـطحي كمية البروتين المطلوبة لإنتاج مســـتحلب ، وتعتمد على ذوبانية البروتين . البروتين الكروي وكازينات الصــــوديوم جيدة الذوبان تعطي حملاً ســـطحياً قدره 2.5 مليجرام . متر$^{-2}$ ، بينما تعطي كازينات الكالسيوم وجسيمات الكازين قيماً أعلى . البروتينات ضعيفة الذوبان لا يمكن استعمالها لعمل المستحلب . ومن الواضـح أن الحمل يعتمد أيضاً على كمية البروتين المتاحة لكل وحدة مسـاحة سـطح الزيت المصنعة ، كما هو موضـح في شـكل a6.21 وعلى العوامل المؤثرة على تعديل شكل البروتين (الأس الهيدروجيني ، القوة الأيونية ، الأملاح المعدنية ، درجة الحرارة ، والمعاملة الحرارية) .

2. حجم القطرة Droplet size : يعتمـد حجم القطرة المتـاح على شــــدة الاســـتحلاب وعلى التركيز ونوع البروتين . شـــكل b6.21 يعطي أمثلة للنقطة الأخيرة . لكي نحصــــل على نفس مســـاحـة الســـطح النوعي ، فـإننـا نحتـاج إلى بروتين أكثر إذا كـانـت كتلته المولاريـة الأعلى أو عنـدمـا يكون في الحـالـة المتجمعـة ، ولكن عنـدمـا يتوافر البروتين نســبياً ، تكون الاختلافات بين البروتينات المختلفة صـغيرة . ومع ذلك ، لا تكون بروتينات الشرش مناسبة لعمل مستحلبات بالقرب من أس هيدروجيني قدره 5 ، حيث تكون ذوبانيتها قليلة . البروتينات لا تكون مســـتحلبات جيدة جداً ، لأنها لا تعطي شـــداً بين ســـطحي منخفض جداً بين الزيت والماء ، مع جزيئات صـــغيرة نشـــطة الســـطح وبذلك يمكن أن تتكون قطرات أكثر صـغراً . وهذا يعني أن ضـغطاً تجنيسـاً عالياً نسـبياً يكون مطلوباً لثبات المستحلب ، خاصة ضد التقشيد والتجمع الجزئي . البروتينات لا يمكن استخدامها في عمل مستحلبات ماء- زيت في الماء .



شكل 6.21 خواص مستحلب بروتينات اللبن (a) الحمل السطحي (Γ) كدالة عن البروتين الابتدائي الموجود في المحلول لكل متر مربع مساحة سطح زيت خُلق بواسطة عملية استحلاب . كازينات- الصوديوم في 0.2 مولر كلوريد الصوديوم (–) وفي الماء (---) . الخط المستقيم يعطي قيمة Γ التي سوف تحصل عليها إذا حدث ادمصاص لجميع البروتين المتاح . (b) مساحة سطح معين (A) يتم الحصول عليه كدالة عن البروتين المتاح لكل مليمتر من الزيت ، الكسر الحجمي للزيت = 0.2 (أمثلة تقريبية عند ظروف ثابتة)

Figure 21.6 Emulsifying properties of milk proteins. (a) Surface load (Γ) as a function of protein initially available in the solution per m^2 oil surface area crated by emulsification. Na-caseinate in 0.2 M NaCl (–) and in water (---). The straight line gives the Γ value that would be acquired if all protein available were sdsorbed. (b) The specific surtace area (A) obtained as a function of available protein per ml of oil; volume fraction of oil = 0.2. (Approximate examples at otherwise constant conditions)

3. الالتحام Coalescence : ثبات قطرات بروتين مغطى بالزيت ضـــد التجمع يميل أن يكون جيد جداً بشـــرط أن القطرات لا تتجمع ، يكون حمل البروتين عند قيمة المســـطبة (مرحلة استقرار) Its plaleau value ، وتكون القطرات صغيرة أي تحت 10 ميكرومتر . ليس هناك اختلافات كبيرة بين البروتينات . تعطي الببتيدات الصغيرة ثباتاً منخفضاً .

بروتينات الشرش ليست مناسبة لثبات المستحلبات التي يجب تسخينها ، دنترة البروتين من المحتمل أن يؤدي إلى رقع عارية على القطرات ، تؤدي إلى تجمعها . يمكن أن تستخدم كازينات الصـوديوم

لعمل مستحلبات تبقى ثابتة أثناء المعاملة الحرارية ، التبخير ، التجفيف بالرذاذ ، تخزين المسحوق المتحصل عليه ، وعندما نذيب المسحوق .

4. الالتحام الجزئي Partial coalescence : هذا يمكن حدوثه في المستحلبات عندما يتبلور جزء من الزيت . وهذا تم مناقشته بالتفصيل في تحت فصل 2.2.2.3 . يمكن أن تصنع المستحلبات الثابتة بالكازينات وبروتينات الشرش ، شريطة أن تكون الكريات صغيرة أي أقل من 2 ميكرومتر ، وحملها البروتيني عند قيمة مرحلة الاستقرار .
5. التجمع Aggregation : تميل قطرات المستحلب للتجمع عندما يكون البروتين المستخدم غير ذائب . فمثلاً ، تتجمع قطرات مغطاة بالكازينات عند إضافة المنفحة ، حيث يصبح الأس الهيدروجيني حوالي 4.6 ، أو بإضافة زيادة من كلوريد الكالسيوم $Ca\,Cl_2$.

4.2.21 الرغاوي *Foams*

تصنع الرغاوي عادة بضرب سائل مناسب مع الهواء (أو غاز آخر) . النتائج الهامة لهذه العملية هو الريع Overrun أي زيادة نسبية في الحجم نتيجة تضمين الهواء ، وحجم الفقاعات غالباً بين 20 200 ميكرومتر في رغاوي الغذاء . تكون الرغاوي غير ثابتة نسبياً ، طول العمر عادة أقل من ساعة ، بالمقارنة مع سنه على الأقل لعديد من المستحلبات . تحدث ثلاثة أنواع من عدم الثبات ، بالرغم من أنه ليس من السهل أن نفرق بينهما . وهي تختص بـ : (1) صرف السائل من طبقة الرغاوي ، (2) التحام فقاعات الهواء مع بعضها ومع الهواء فوق الرغاوي (3) نضج أوستوالد Ostwald ripening يؤدي الالتحام إلى انهيار الرغاوي . يحدث عدم الثبات المذكور أثناء الضرب ، خاصة التحام فقاعات الهواء . أثناء تخزين رغاوي الغذاء . نضج أوستوالد هي عادة العملية السائدة .

البروتينات هي عوامل تكون رغاوي ممتازة . إذا كان البروتين جيد الذوبان ، يكون تركيزه عالياً ، يكون الضرب شديداً ، يمكن أن يصل الريع الناتج إلى 1000% أو أعلى .

تكون رغاوي مثبتة للبروتين حساسة للالتحام السريع إذا احتوى الجهاز على كميات صغيرة من الدهون . الأخير يكون خاصة من الكازين . تعطي كازينات الصوديوم والبوتاسيوم رغاوي وفيرة وثابتة نسبياً . عند محتوى بروتيني 3 أو 4% ، يمكن الوصول إلى 1000% ريع . بروتينات الشرش المدنترة بالحرارة عند أس هيدروجيني عالٍ (أي 20 دقيقة عند درجة 85 مئوية، أس هيدروجيني قدره 7.5) دون وجود كالسيوم كثير ، يمكن أيضاً أن تستخدم ، هذه البروتينات تعطي ريعاً أقل بعض الشيء ، ولكن الرغاوي تكون أكثر ثباتاً . بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أن يكون محلول بروتين شرش مركز مناسب رغاوي وتسخن تدريجياً لدرجة أن هلامات بروتين الشرش ، وجوامد صلبة ، ورغاوي ثابتة قد تتكون . مثل المرنغ Meringue .

يميل تحلل مائي جزئي للبروتينات إلى تسريع قدرة تكون الرغاوي ، ولكنه يقلل من ثباتها . خطة واضحة هي استخدام مخلوط من ببتيدات وبروتينات طبيعية . تمنع الببتيدات الالتحام غير الضروري أثناء الخفق . تكون البروتينات ذات نشاط سطحي أكثر ولذلك تحل محل الببتيدات من السطح بين الماء والهواء ، وتقدم ثباتاً كبيراً لفقاعات الهواء في أن تلتحم ويحدث لها نضج أوستوالد أثناء التخزين .

مراجع مقترحة ***Suggested Literature***

الخواص الكيموفيزيائية للبروتينات وجوانب أساسية للخواص الوظيفية المختلفة :

P. Walstra, Physical Chemistry of Foods, Dekker, New York, 2003

عدة موضوعات مذكورة تم مناقشتها في هذا الفصل :

P.F. Fox and P.L.H. Mc Sweeney, Eds., Advanced Dairy Chemistry, Vol. 1, Proteins, 3rd ed., kluwer Academic, New York, 2003. (especially chapter 26 to chapter 29 in part B).

22 الألبان المتخمرة *Fermented Milks*

1.22 جوانب عامة *General Aspects*

لها تاريخ إنتاج قديم جداً ، تنشـأ الألبان المتخمرة على أسـاس القاعدة المطبقة وهي أن اللبن الخام سـوف يفسـد بعد التخزين بسـبب عمل الكائنات الدقيقة . عند درجة حرارة معتدلة ، تكون بكتيريا حامض اللاكتيك سـائدة ، يصـبح اللبن حامضـاً . عندما تسـتخدم اللبن الحامض ويوضـع اللبن الطازج في نفس الوعاء بدون تنظيف صـارم ، يلقح اللبن الطازج بفلورا البكتيريا المتبقية . يصير اللبن الآن حامضاً بسرعة ، عادة نتيجة لأعداد صغيرة من أنواع وسلالات بكتيرية . إذا كررت هذه العملية تحت ظروف ثابتة (خاصة درجة الحرارة) ، الاختيار الطبيعي يؤدي إلى تخمر حمض لاكتيك نقي ، بالرغم من أن بعض البكتيريا الأخرى يمكن أن توجد . يمكن أن تتحسـن العملية بواسـطة التنظيف الشـديد للوعاء . المعاملة الحرارية للبن لقتل الميكروبات غير المرغوبة ، وتلقيح اللبن بواسطة قليل من اللبن الحامض من دفعة سابقة ، تعمل هذه كبادئ لعملية التخمير . اللبن المتخمر المتحصـل عليه له جودة حفظ طويلة وغالباً ، نكهة سـائغة . وهو أيضـاً أكثر أماناً للمسـتهلك لأن البكتيريا الممرضـة تم قتلها ، والملوثة بمسـببات مرضـية بعد ذلك لا تسـتطيع النمو . تغير بكتيريا حامض اللاكتيك ظروف اللبن بطريقة ما لدرجة أن الكائنات غير المرغوب فيها لا تستطيع النمو أو حتى الموت . تشمل هذه الظروف أساً هيدروجينياً منخفضاً (من 4.6 إلى 4) ، فرق جهد الأكسـدة- الاختزال ، وتثبيط النمو بالأحماض غير المتأينة (مثل حامض اللاكتيك) وبعض المواد الأيضـية مثل فوق أكسـيد الهيدروجين H_2O_2 ومواد ذات نشـاط كمضـاد حيوي .

وكنتيجة للتغيرات في الظروف المحيطة ، عدد كبير من أنواع اللبن المخمر تم تحضـيره . تشـمل المتغيرات أنواع حيوانات اللبن ، المعاملة الحرارية للبن ، نسـبة الدهن في اللبن ، تركيز اللبن ، تصـبح أنواع مختلفة لبكتيريا حامض اللاكتيك سـائدة ، إنتاج مركبات نكهة مختلفة . تحتوي أغلب

أنواع اللبن المتخمر على نوعين إلى أربعة أنواع من البكتيريا . في بعض المنتجات ، تترسب الخمائر والأعفان في عملية التخمر .

جميع أنواع الألبان المتخمرة تقريباً هي نتيجة لتطور طويل للغاية . يستخدم التصنيع الحديث بادئات نامية يتم اختيارها بعناية وتستخدم عمليات تصنيع صحية للغاية . الألبان المتخمرة منتجات لها شعبية كبيرة ، تدخل نوعيات جديدة بانتظام سوق المستهلك . في هذا الفصل ، أنواع عديدة من الألبان المتخمرة سوف يتم مناقشتها . ويتم تصنيفها طبقاً لنوع التخمر . القيمة الغذائية للألبان المتخمرة هي جانب خاص وسوف يتم معالجته أيضاً . وأخيراً ، تصنيع نوعان من الألبان المتخمرة ، وهما اللبن الزبدة والزبادي يتم التعامل معهما بالتفصيل .

2.22 أنواع الألبان المتخمرة *Types of Fermented Milks*

تقسم الألبان المتخمرة إلى أربعة أنواع مختلفة : (1) منتجات التخمر اللاكتيكي التي تستخدم فيها سلالات بكتيريا حامض اللاكتيك Mesophilic (2) منتجات التخمر اللاكتيكي تستخدم فيها بكتيريا حامض اللاكتيك المحبة للحرارة Thermophilic (3) منتجات تم الحصول عليها خلال التخمر اللاكتيكي الكحولي مشتملة الخمائر وبكتيريا حامض اللاكتيك و(4) منتجات حيث ينمو فطر بالإضافة إلى نوع التخمر نوع (1) أو(2) . جوانب أساسية لتخمرات حامض اللاكتيك وبادئاتها تم وصفها في فصل 13 .

1.2.22 تخمر بكتيريا محبة لدرجات الحرارة المتوسطة *Mesophilic Fermentation*

1.1.2.22 زراعة لبن الزبد *Cultured Buttermilk*

هذا النوع من اللبن هو لبن فرز متخمر بواسطة مخلوط من بكتيريا حامض اللاكتيك المحبة لدرجة الحرارة المتوسطة . وله طعم حامضي بسيط بنكهة داي أسيتيل عطري أو ملمس لزج . لاكتوكوكس لاكتيس سريموريس ولاكتيس *Lactococcus lactis* sspp. *Cremoris* and *lactis* تكون المصادر الأولية لنكهة عطرية مميزة للمنتج لأن قدرتها لإنتاج داي أسيتيل (انظر تحت فصل 3.2.1.13) .

يصـــنع أغلب اللبن الزبد بمزارع خليطة بســـلالات لأنواع تم ذكرها عالية ، والتي تكون بادئات DL (انظر تحت فصـل 1.5.13) . يخمر اللبن بعد عملية البسـترة ، عند درجة حرارة 20 مئوية إلى 22 درجة لكي نضمن نمواً متوازناً للأنواع المنتجة للحامض والنكهة .

سـوف يكون التحضـين عند درجة حرارة أعلى في صـالح نمو بكتيريا أنواع لاكتوكوكس لاكتيس Lc. Lactis ssp. Lactis ، وينتج عن ذلك زيادة إنتاج الحامض والتقليل من إنتاج النكهة بواسطة البكتيريا المنتجة للمواد العطرية . تفاصيل تصنيع زراعة اللبن الزبدة تم مناقشتها في فصل 3.22 .

2.1.2.22 القشدة الحامضية *Sour Cream*

القشدة المزروعة أو القشدة الحامضية تنتج بواسطة التخمير عند بسترة عالية للقشدة مع نسبة دهن تتراوح من 18% إلى 20% ، والتي تجنس عند درجة حرارة منخفضة ، لتسمح بتكون عناقيد مجنسة (انظر فصل 7.9) . القشدة يتم تلقيحها ببادئ عطري (بادئ DL ، انظر جدول 4.13) ويحضـــن عند درجة حرارة من 20 مئوية إلى 22 درجة مئوية حتى وصـــول قيمة الأس الهيدروجيني 4.5 . وظيفة زراعة البادئ هي نفس ما يحدث في اللبن الزبدة المزروع . أثناء إنتاج الحامض تتجمع العناقيد المجنســة ، وتؤدي إلى قشـــدة لها لزوجة عالية . ولكي نزيد الصـــلابة ، يضـاف قليل من المنفحة و/أو عامل مســبب للســماكة يضـاف في بعض الأوقات قبل عملية التخمير .

3.1.2.22 الألبان المتخمرة *Fermented Milks*

تم إنتاج أنواع عديدة للألبان المتخمرة الناتجة عن بكتيريا حامض اللاكتيك المحبة للحرارة المتوســطة في البلدان ذات الأجواء الباردة . وهي تكون مجموعة من المنتجات المختلفة عن الألبان المتخمرة المصنوعة في أماكن أخرى ، نتيجة لخواصها الفيزيائية المتفردة ، والتي تتميز باللزوجة العالية وتكوين أحبال Ropiness . إذا اســتخدمت ملعقة على ســطح اللبن تظهر أحبال طويلة عندما

ترفع الملعقة . في الجو البارد لشـــمال أوروبا . يكون تخمير اللبن الخام عادة كنتيجة للنمو الفوري لنمو بكتيريا حامض اللاكتيك المحبة للحرارة المتوسـطة ، وخاصـة *Lc. lactis* ssp. *cermoris* . التي تنتج سـكريات عديدة خارجية .وأيضـاً عند درجات الحرارة المنخفضـة السـائدة ، يبقى المنتج اللزج مجنسـاً نتيجة للتنشـيط المحدود . تم تطوير أنواع كثيرة لمنتجات مصـنعة تجارية من المنتجات منـزلية الصنع أصلاً . اللبن المخمر في شمال أوروبا ، له نفس المميزات . بعض الأمثلة تم توضيحها في النص التالي .

اللبن الطويـل أو اللبن الحبلي Langfil ممثـل للألبـان المتخمرة في شمـال أوروبـا عـاليـة اللزوجة . يسـتخدم البادئ DL أو D (دكسـترو الدوران Dextro rotatory) مع سـلالة بكتيرية منتجة لسكريات عديدة خارجية من *Lc. lactis* ssp. *cremoris*. درجة حرارة تحضين منخفضة نســبياً (حوالي 18 درجة مئوية) تســرع نمو هذه الكائنات . تمنع اللزوجة العالية للمنتج ملأ الزجاجات ولذلك يحصـــل التخمر في العبوة . وللبن طعم حامض خفيف . ينتج هذا النوع من اللبن في السـويد وألبان متخمرة متشـابهة تصـنع في النرويج تسـمى تيتيميلك Tettemelk . اللبن ديكميلش Dickmilch الألماني له خصائص متشابهة .

فيلميولك Filmjolk لبن مخمر سويدي شعبي يتميز بواسطة نكهة مميزة مشتقة من داي أســيتيل ، له لزوجة عالية ، ومحتوى دهني 3% ، عالي البســترة ويلقح اللبن المجنس بمزرعة بادئ عطري (DL) ويحضـن عند حوالي 20 درجة مئوية ولمدة 17 إلى 24 سـاعة . يسـتخدم هذا اللبن الحامض (ذو أس هيدروجيني قدره 4.6 كمشـروب ، عادة ما يشـرب مع الوجبات . أنواع من هذا اللبن لها محتوى دهني منخفض توجد أيضاً في الأسواق .

يمير Ymer (لبن دنيماركي) ولاكتوفيل Lactofil (لبن ســويدي) يركزان بعد تخمير اللبن بواسـطة إزالة النسـبة الثابتة للشـرش أو يركز اللبن أولاً بواسـطة ترشـيح فائق والمحتجز يتم تخميره بالتالي . للتخميض ، يســـتخدم بادئ عطري . يمير واللاكتوفيل يحتويان على الأقل على 11% أجسام صلبة غير لبنية (تحتوي على حوالي 6% بروتين) ، و3.5% و5% دهن على الترتيب . هذا

اللبنـان محتواهمـا عـالي من البروتين ومنخفضـــة الطـاقـة Calories ولهمـا قوام غليظ ويمكن صبهما . وهناك بعض الشبه مع أنواع جبن طازجة مثل كوارج Quarg (انظر فصل 2.27) .

جدول 1.22 الألبان المتخمرة ذات العلاقة بالزبادي في بلدان مختلفة

Table 22.1 Yogurt-Related Fermented Milks in Various Countries

Synonym المشابه	Country البلد
داهي Dahi	الهند India
دادية Dadih	اندونيسيا Indonesia
كاتيك Katyk	كازاخستان Kazakhstan
لبن ، ليبين Laban , leben	العراق ، لبنان ، مصر Iraq, Lebanon, Egypt
لبن رايب Laben rayeb	المملكة العربية السعودية Saudi Arabia
ماست Mast	إيران ، العراق ، أفغانستان Iran, Iraq, Afghanistan
ماتزون مادزون Matzoon Madzoon	أرمينيا Armenia
روبا ، روب Roba , rob	مصر ، السودان ، العراق Egypt, Sudan, Iraq
تارهو Tarho	هنجاريا Hungary
تياوتي Tiaourti	اليونان Greece
ياورت Yaourt	روسيا ، بلغاريا Russia, Bulgaria
زبادي Zabady	مصر والسودان Egypt, Sudan

2.2.22 التخمر المحب للحرارة *Thermophilic Fermentation*

1.2.2.22 الزبادي *Yogurt*

الزبادي هو من المحتمل اللبن المتخمر الأكثر شـــعبية . ويصـــنع بتراكيب متنوعة (دهن ومحتوى مادة صـــلبة) ، أما ســـادة أو مع إضـــافة مواد مثل الفاكهة ، الســـكر ، ومواد مكونة للهلام . تتكون الفلورا الأســـاســـية للزبادي من البكتيريا المحبة للحرارة ســـتريبتوكوكس ثيرموفيليس *Streptococcus thermphilus* واللاكتوباســـيلس ديلبريكي *Lactobacillus delbrueckii*

أجناس بيلجاريكيس ssp. *Bulgaricus* . ولكي تتكون نكهة مرضية ، أعداد متساوية تقريباً من كلا الجنسين يجب أن تكون موجودة . ولهما تأثير محفز على نمو كل منهما . تشتمل المركبات المتطايرة الناتجة بواسطة بكتيريا الزبادي على كميات صغيرة من حامض الأسيتيك ، والداي أسيتيل ، والأكثر أهمية الأسيتالدهيد . تفاصيل صناعة الزبادي سوف تناقش في تحت فصل 2.4.22 .

الزبادي والمنتجات شبيهة بالزبادي تصنع بشكل واسع في منطقة البحر الأبيض المتوسط ، آسيا ، أفريقيا ، ووسط أوروبا . مشابهات الزبادي أو الألبان المتخمرة ذات العلاقة الموجودة في بعض البلدان تم توضيحها في جدول 1.22 . يصنع الزبادي تقليدياً من لبن النعاج Ewes ومن لبن الجاموس وفي بعض الحالات بخلطة من لبن البقر .

2.2.2.22 اللبن الزبادي البلغاري *Bulgarian Buttermilk*

اللبن الزبادي البلغاري هو لبن متخمر عالي الحموضة ، يصنع من اللبن كامل الدسم المبستر مطعم ببكتيريا لاكتوباسيلس ديلبريكي نوع بيلجاريكس بمفردها *Lb. delbrueckii* ssp *bulgaricus* (عند 2% تطعيم inoculum) ، وتحضين عند درجة حرارة 38 مئوية إلى 42 درجة مئوية لمدة من 10 إلى 12 ساعة حتى تكون الخثرة مع حوالي 150°N نشاط معايرة . المنتج له نكهة حادة وهو له شعبية واسعة في بلغاريا فقط .

3.2.2.22 اللبن الأسيدوفيلي *Acidophilus Milk*

يزرع اللبن الأسيدوفيلي بالبكتيريا لاكتوباسيلس *Lb. acidophilus* التي عملها الأول هو إنتاج حامض اللاكتيك . بالإضافة إلى ذلك إلى أنها تعتبر بكتيريا قبل حيوية Probiotic bacterian ، وأدعى أنها تمنح مزايا صحية عديدة . وهي ليست ممثلاً طبيعياً لفلورا اللبن وهي تنمو ببطء في اللبن ومن ثم يجب أن يتم تجنب التلوث أثناء تصنيع اللبن الأسيدوفيلي . يلقح اللبن المعقم بكمية كبيرة من البادئ (من 2% إلى 5%) ويحضن عند حوالي

38 درجة مئوية لفترة من 18 إلى 24 ســــاعة . لأن *Lb. acidophilus* هي بكتيريا تتحمل الحموضــة ، يمكن أن يصــبح محتوى حامض اللاكتيك للبن عالياً أي 1% إلى 2% ، إذا تم تخزين المنتج عند درجة حرارة منخفضـــة غير كافية . تصـــبح نكهة اللبن بعد ذلك لاذعة ، ويقل عدد الخلايا البكتيرية الحية بسرعة . يمكن التغلب على المشكلة بواسطة خلط اللبن الكامل الدسم مع مزرعة مركزة مجمدة من بكتيريا لاكتوباسيلس أسيدوفيليس *Lb. acidophilus* وحفظ الخليط عند درجة حرارة منخفضة (أي 4 درجة مئوية) والتي تمنع اللبن من أن يصبح حامضاً .

3.2.22 اللبن المتخمر قبل الحيوي ***Probiotic Fermented Milk***

يتم صـــنع اللبن المتخمر قبل الحيوي مع بكتيريا حامض لاكتيك عديدة ، شـــاملة Bifidobacteria . لاكتوباسيليس أسيدوفيليس *Lactobacillus acidophilus* سلالات معينة من *Lb. casei* وBifidobacterium spp. هي الأكثر استخداماً كبكتيريا قبل حيوية في صناعة الألبان المتخمرة . هذه البكتيريا وبعض الكائنات الدقيقة الأخرى يظن أنها تعطي الصـــحة ولها مميزات غذائية هامة للمستهلك . من خلال نشاطها في مجرى الأمعاء . لا تستطيع مزرعة بادئ الزبادي التقليدية *S. thermophilus* و*Lb. Delbrueckii* spp. *bulgaricus* لا تستطيع النمو في مجرى الأمعاء .

قد ازداد عدد أنواع الألبان المتخمرة المصـــنعة مع الكائنات الدقيقة قبل الحيوية بصـــورة واضــحة في العقود القليلة الماضــية . يمكن أن تحتوي هذه المنتجات على كائنات دقيقة قبل حيوية بالإضـــافة إلى ســـلالات بكتيرية مثل *S. thermophilus* and *Lb. delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* وبالتبادل ، *S. thermophilus* يمكن أن تجمع مع واحد أو اثنين من البكتيريا قبل الحيوية . لا يصـــل تركيز البكتيريا قبل الحيوية لمســـتوى بكتيريا الزبادي . المنتج الناتج تم تسويقه تجارياً بأسماء زبادي حيوي مثل Biograde, Bifighurt, Bioghurt ، وCultura وأسماء قليلة أخرى .

3.2.22 التخمر اللاكتيكي– الخمائر *Yeast- Lactic Fermentation*

1.3.2.22 كيفير *Kefir*

يصـــنع من لبن الأبقار أو الماعز أو النعاج . أثناء التخمير ، يتم إنتاج حامض اللاكتيك والكحول . في العادة ، صنع لبن الشرب في روسيا والجنوب الغربي لآسيا . والآن يصنع في بلدان مختلفة على مستوى تجاري باستخدام لبن الأبقار .

تختلف الفلورا الدقيقة للكيفير. لاكتو باســيليس .L. *Lactococci Lactis biovar*. *Leuc. Lactis* and) and (*L. lactis* sspp, *lactis* and *cremoris* و *lactis* ssp. and *diacetglactis*), *leuconostocs* (*Leuc. Cremoris* في بعض الأحيـان ، أيضـــاً أنواع لاكتوباسـيلس (Lb. brevis, Lb. kefir) ديلبريكي ولاكتوباسـيلس بلجاريكيس ولاكتوباسـيلس أسيدوفيليس) يمكن أن تكون حامض لاكتيك ، بينما الخمائر ، شـاملة أنواع كانديدا candida ، كليفيروميســيس Kluyveromyces ، وســاكاروميســيس Saccharomyces تنتج الكحول . يعتقد أن الكيفير ذو النوعية المرضـــية يحتوي أيضـــاً على بكتيريا حامض الخليك . عادة تكون الكـائنـات المشـــتركـة في المنتج المزروع موجودة في تراكيـب (حبيبـات) . أثنـاء تخمر اللبن ، تنمو الحبيبات نتيجة تجبن البروتين ، بينما تكون متصـلة بواسـطة سـكريات عديدة متكونة (Kefran ، كيفران) .

كيفير لبن شـرب حامض قشـدي فوار . محتوى حامض اللاكتيك هو من 0.7% – 1% ومحتواه الكحولي يتراوح بين 0.05% إلى 1% ولكن نادراً ما يتجاوز 0.5% .

هذه المســتويات تعتمد على ظروف التحضــين والتخزين . يجب أن تتكون مواد أيضــية بنســـب معينة لكي نحصـــل على نكهة جيدة . تكون بعض التحولات محددة للنوعية ، مثال ذلك ، تكون حامض الأسيتيك من الكحول بواسطة بكتيريا حامض الخليك بعد أخذ الأكسجين من الهواء .

في تصنيع الكيفير التقليدي ، يحفظ اللبن مع الحبيبات النشطة المضافة أولاً لبعض الوقت عند درجة حرارة من 20 إلى 25 درجة مئوية لكي نسرع التخمر اللاكتيكي . وبالتالي تصفى الحبيبات خارج اللبن ، الذي يتم نضجه عند درجة حرارة من 8 إلى 10 مئوية ، والتي تحفز تكون الكحول . تستخدم الطرق الحديثة للتصنيع اللبن الكامل الدسم المبستر والمجنس أو القياسي . لا يحضن اللبن مع الحبيبات كما هو ولكن مع لبن حامض يتم الحصول عليه من تصفية مزرعة مخمرة من الحبيبات . يمكن أن تضاف كمية محددة من البادئ (ليفو L) أيضاً . يوضع اللبن الملقح في علبة محكمة القفل ويحضن . وبهذه الطريقة يتم الحصول على كيفير ثابت firm kefir . تتكون كمية كبيرة من الغازات أثناء عملية التخمير . تحدد وقت التحضين ودرجة الحرارة خواص المنتج النهائي أي كمية الكحول وحامض اللاكتيك وثاني أكسيد الكربون والمادة العطرية . في تحضير الكيفير المقلب stirred kefir يخمر اللبن عند درجة حرارة عالية مناسبة ، ثم يبرد ببطء أثناء التقليب ، ثم ينضج عند درجة حرارة منخفضة ، ثم يعبأ . مواد التعبئة الحديثة ، أي أكواب من رقائق الألومنيوم مغلفة بالبلاستيك ، لا تستطيع مقاومة ضغط ثاني أكسيد الكربون العالي ولذلك يمكن أن يحدث الانتفاخ . وعلى ذلك يصنع ثقب في الألومنيوم أو بوقف التخمر في مرحلة مبكرة على حساب الخواص التقليدية للبن . يكون الإنتاج المستمر للكيفير ممكناً . يمكن تحضير بديل للكيفير بإضافة سكروز لمزرعة لبن زبدة buttermilk (أي 20 جرام لكل لتر) مع الخميرة ، ساكاروميسيس سيريفيزي *Saccharomyces cerevisiae* والتحضين لمدة من 3 إلى 4 ساعات عند درجة حرارة من 18 إلى 21 درجة مئوية في عبوة محكمة القفل .

2.3.2.22 كيميس *Kumiss*

الكيميس لبن شرب معروف في روسيا وغرب آسيا . قديماً ، اللبن المزروع عرفت قيمته لاعتقادهم في جدواه ضد مرض السل والتيفويد . يصنع المنتج تقليدياً من لبن الخيل . تكون الفلورا المخمرة متنوعة ، كما في لبن الكيفير .

كيميس مشـــروب مذهل فوار Sparkling . يحتوي على 0.7% إلى 1% حامض لاكتيك ومن 0.7% إلى 2.5 كحول ، و1.8% دهن ، و2% بروتين ، وله لون رمادي . يتحلل البروتين أثناء تصنيعه . بالاشتراك مع المركبات التخمرية المتكونة ، يكون التحلل البروتيني مسئولاً عن النكهة الخاصة للمشروب . يجب أن تتم عمليات التخمر بطريقة تسمح بتكون المواد الأيضية بنسب معينة .

لا يصنع الكيميس التقليدي على مستوى تجاري . يضاف البادئ للبن الخيل الخام عند درجات حرارة من 26 إلى 28 درجة مئوية . والذي يزيد الحموضـــة إلى mM50 (ينمى البادئ كنوع من زراعة مستمرة في لبن الخيل) يقلب الخليط جيداً وبشـدة ثم يترك دون إزعاج وهذا يرفع الحموضـة إلى 60 ملي مولر . يقلب اللبن لمدة ساعة إضـافية لتهويته وللحصـول على جزيئات بروتين منتشـرة . ثم يعبأ بعد ذلك في زجاجات . تحفظ الزجاجات عند درجات حرارة من 18 إلى 20 درجة مئوية لمدة ســاعات قليلة . ولبعض الوقت عند 4 درجات مئوية إلى 6 درجات مئوية ، تتابع درجات الحرارة يسرع تخمر حامض اللاكتيك والكحول .

يصـــنع الآن منتج مقلد للكيميس على مســتوى تجاري ، بدءاً من لبن الخيل . وبالمقارنة لبن النعاج ، البقر ، فإن له نسبة مرتفعة من الكازين إلى بروتينات المصل ومحتوى لاكتوز منخفض (انظر جدول 20-2) . تحفز مكونات لبن النعاج بواســطة خلط لبن البقر والمعاملة الحرارية لمتبقى الشـرش بالترشـيح الفائق ، تكون المعاملة الحرارية للشـرش ضـرورية لتثبيط المنفحة. يحتوي البادئ على بكتيريا لاكتوباســيللس ديلبريكي *Lactobacillus delbrueckki* أنواع بيلجاريكيس *bulgaricus* وكانديدا كيفير *candida kefir* .

4.2.22 أعفان في تخمر لاكتيكي *Molds in Lactic Fermintation*

فيلي Viili منتج فنلندي ، يصـنع من لبن غير مجنس مبســتر . ويســتخدم بادئ ينتج ســكريات عديدة ، يمكن مقارنتها بالبادئ المســتعمل للبن لانجفيل Langfil . يحضـن اللبن في

درجات حرارة تتراوح بين 18 إلى 19 درجة مئوية لمدة 18 إلى 20 ساعة . يضاف أيضاً الفطر جيوتركيم كانديديم *Geotrichum* candidum ، تتكون طبقة قشدية وفيها يخلق الفطر طبقة مخملية ناعمة ويحدث بعض التحلل المائي للدهن . يمكن أن يزيد العامل الأخير من فاعلية بكتيريا حامض اللاكتيك يغلف الدهن (انظر فصل 4.25) . المنتج بإحكام ، ويتوقف الفطر عن النمو عندما يتم استهلاك الأكسجين بالكامل . يذوب أغلب ثاني أكسيد الكربون المتكون في المنتج ويؤدي إلى تحت ضغط قليل في العبوة .

3.22 لبن الزبدة المزروع ***Cultured Buttermilk***

لبن الزبد التقليدي هو السائل المائي الذي يطلق أثناء تصنيع القشدة بواسطة تقشيد الزبد الحامض . هذا اللبن له خواص مميزة نتيجة وجود نكهة القشدة العطرية (غالباً داي أسيتيل diacetyl) وجزء من مواد غشاء كريات الدهن الطبيعية التي تطلق أثناء التقشيد . تقتضي الأخيرة تركيزاً عالياً من الليبيدات الفوسفورية- كلما كانت زائدة كلما ارتفع محتوى الدهن في الزبدة . تكون هذه الليبيدات الفوسفورية حساسة جداً للأكسدة الذاتية بسبب محتواها المائي مع بقايا الأحماض الدهنية العديدة غير المشبعة (انظر تحت فصل 4.3.2) . وتبعاً لذلك ، يكون اللبن الزبدة نكهة غير مرغوبة ، عادة ما تسمى معدنية metallic والتي يمكن أن تصبح لاذعة . وهذا يقتضي أن اللبن الزبدة الحامض من الزبدة عالية الدهن لها وقت صلاحية قصير ولنقل يومان ، حتى لو أضيف حامض الأسكوربيك كمضاد للأكسدة .

وقد حل لبن الزبدة التقليدي محل لبن الزبدة المزروع أو المخمر كلياً ، والذي ينتج بواسطة تخمر لبن الفرز أو اللبن قليل الدهن بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك المحبة للحرارة المنخفضة والتي تستخدم كبادئ ، والتي تحتوي على أنواع لاكتوكوكس لاكتيس *Lactococcus lactis* ssp. *Lactis* واللاكتوكوكس لاكتيس *Lactococcus lactis* ssp. سريموريس *Cremoris* وأنواع اليسكونوستوك ميزينترويدس سريموريس *L. mesentroides* ssp. *Cremoris* النوعان الأولان

ينتجان حامض لاكتيك وغالباً ما يطلق عليها البكتيريا المنتجة للحامض acid producers ، وبالعكس ، بالنسبة للبكتيريا ليكونوستوك التي تخمر حامض السيتريك إلى مواد أيضية هامة مثل ثاني أكسيد الكربون ، الأسيتالدهيد وخصوصاً الداي أسيتيل . فيشار إليها بالبكتيريا المنتجة للنكهة aroma producers . ومن الممكن أيضاً أن تدخل بكتيريا *L. lactis* ssp. *Lactis biovar. diacetglactis* كمنتجة للنكهة . يكون التوازن بين إنتاج النكهة والحامض غاية في الأهمية . ليس أكثر من 20% من عشيرة البكتيريا الكلية يجب أن تحتوي على منتجات للنكهة . داي أسيتيل عند تركيز من 2 إلى 5 مليجرام . كيلوجرام$^{-1}$ هو المسئول عن نكهة عطرية مميزة للبن الزبد المزروع . يجب أن توجد الأسيتالدهيد بكثرة ، لأنها يمكن أن تكون مسئولة عن العيوب التي تسميتها كشبيهة للزبادي . كميات صغيرة نسبياً من الأسيتالدهيد ، أقل من 1 مليجرام . كيلوجرام$^{-1}$ يكون في الحاجة إليها لنكهة المنتج المتوازنة . ولكي يتحقق ذلك ، فمن المستحسن أن نستخدم أنواع لكيونوستوك ميزينترويدس سريموريس *Leuc. Mesenteroides* ssp. Cremoris بدلاً من أنواع لاكتوكوكس لاكتيس لاكتيس بيوفار . دياسيتيلاكتس L. lactis ssp. Lactics biovar. diacetylactis كبكتيريا منتجة للداي أسيتيل .

يصنع لبن الزبدة المزروع من لبن فرز مبستر أو مجنس ، لبن مبستر منخفض الدهن ، عادة ما يحتوي على أقل من 1% دهن . يبرد اللبن بعد البسترة إلى 22 درجة مئوية ويلقح بحوالي من 1% إلى 3% بادئ بكتيري محب للحرارة المتوسطة . يخمر اللبن عند 19 درجة مئوية إلى 22 درجة مئوية لمدة تتراوح بين 15 إلى 20 ساعة حتى أس هيدروجيني من 4.6 إلى 4.7 يتم الوصول إليه . يتكسر التجبن المتكون بواسطة تقليب خفيف يبرد المركب الناتج ويعبأ . الخصائص الحسية الهامة للبن الزبدة المزروع الناتج عن التخمر اللاكتيكي هو جسم أملس وغليظ القوام نتيجة لتجبن بروتينات اللبن والنكهة الناتجة بواسطة تخمر حامض السيتريك واللاكتوز . يعتمد الملمس على تركيز الجوامد الكلية . يجب أن يكون هناك انفصال قليل من الشرش أو يستحسن ألا يوجد . في درجة حرارة المبرد ، يكون جودة الحفظ للبن الزبدة المزروع أسبوعين أو ثلاثة .

يختلف مكونات لبن الزبدة المزروع قليلاً عن مكونات لبن الزبدة التقليدي (جدول 2.22) . وهو لا يحتوي على بروتينات (وقليلاً أن وجد) وليبيدات فسفورية مشتقة من غشاء كريات دهن اللبن ، والذي يكون مميزاً للأخير . يعتمد محتوى الجوامد الكلية بدرجة كبيرة على الإضافة الاختيارية لمسحوق اللبن /مسحوق الشرش .

جدول 2.22 مكون اللبن الزبد المزروع والتقليدي بالجرام لكل 100 جرام

Table 22.2 Composition of Conventional and Cultured Buttermilk in g/100 g

المكون Component	اللبن الزبد التقليدي Conventional Buttermilk[a]	اللبن الزبد المزروع Cultured Buttermilk[b]
الجوامد الكلية Total solids	10.6-9.5	10.6-9.0
الدهن Fat	0.7-0.3	1.0-0.1
الليبيدات الفسفورية Phospholipids	0.18-0.07	0.02
البروتين Protein	3.9-3.3	3.5-3.1
اللاكتوز Lactose	4.3-3.6	4.3-3.6
حامض اللاكتيك Lactic acid	0.9-0.55	0.9-0.55

a تركيزات يمكن أن تكون منخفضة نتيجة لإضافة الماء (<10%)

b تركيزات يمكن أن تكون أعلى نتيجة لإضافة مسحوق اللبن الفرز أو جوامد الشرش .

a Concentrations can be lower due to addition of water (<10%)

b Concentrations can be higher due to addition of skim-milk powder or whey solids

يمكن أن يكون للبن الزبدة المزروع عيوب في النكهة والملمس بالحموضة الزائدة أثناء التخزين هي مشكلة محتملة ، ولكن غياب النكهة نتيجة اختزال الداي أسيتيل إلى أسيتون هي مشكلة شائعة الحدوث . يمكن أن تحدث عيوب الملمس نتيجة لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون بواسطة بكتيريا تخمر حامض السيتريك Citric acid- fermenting bacteria ، والتي تؤدي إلى تمزيق الهلام وظاهرة عوم الخثرة . عيب آخر هو انفصال الشرش عند التخزين . ويمكن تجنب ذلك بإضافة عامل مسبب للسماكة مثل البكتين Pectin .

4.22 الزبادي *Yogurt*

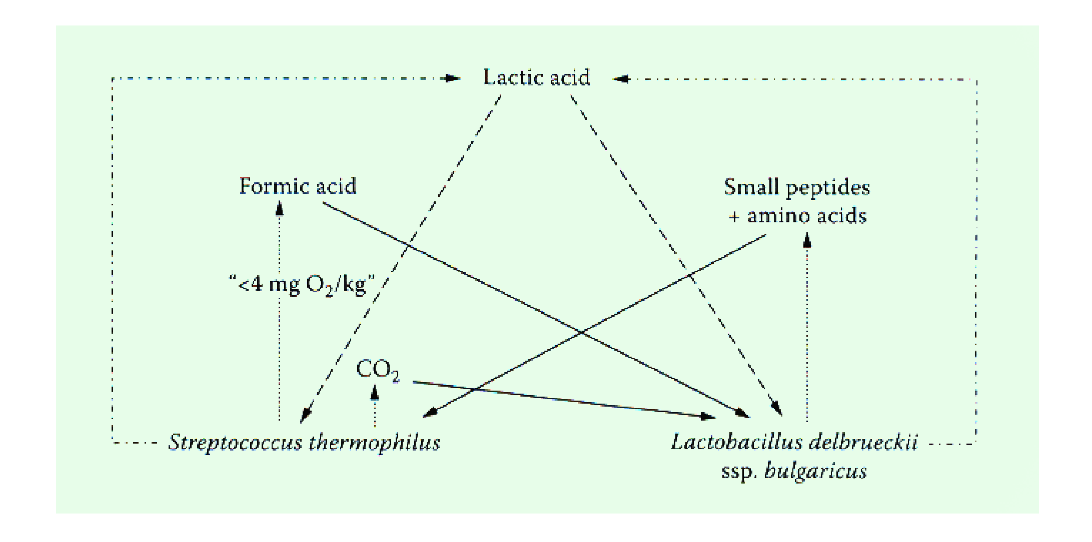
وسـوف يناقش هنا تصـنيع الزبادي بشـكل موسـع أكثر من لبن الزبدة المزروع ، لكي نضرب مثلاً بالمشـاكل التي تقابل عند تصنيع الألبان المخمرة . سـوف تبدأ هذه المناقشـة بوصـف البادئات المستخدمة في الزبادي ونشاطها الأيضي .

1.4.22 بكتيريا الزبادي *The Yogurt Bacteria*

1.1.4.22 النمو *Growth*

تنمو بكتيريا الزبادي ، سـتريبتوكوكس ثيرموفيليس *Streptococcus thermophilus* واللاكتوباسـيلس ديلبريكي *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* . في اللبن بصـورة جيدة عندما توجد معاً ، أكثر من وجود كل منها على حدة (Protocooperation) . تسـرع العصـي المحللة للبروتين نمواً بكتيريـاً سـتريبتوكوكي Streptocci بتكوين ببتيـدات صـغيرة وأحماض أمينية ، الحمض الأميني الأسـاسـي هو الغالين . يحتوي اللبن على قليل من هـذه الأحمـاض الأمينيـة البكتيريـا المكورة (كوكي cocci) والتي تكون فقط محللـة ضـعيفـة للبروتين وتكون الأحماض ببطء البكتيريا المكورة تسـرع نمو العصـي بتكوين حامض الفورميك من حـامض البيروفيـك تحت ظروف لا هوائيـة وإنتـاج سـريع لثـاني أكسـيـد الكربون (انظر فصـل 1.13) . يبقى التأثير المحفز لحامض الفورميك غير واضـح في اللبن المسـخن بشـدة لأن حـامض الفورميـك يتكون في هـذا اللبن بتحلـل اللاكتوز . يكون إنتـاج حـامض الفورميك بواسـطة البكتيريا المكورة cocci ضـرورياً في الصـناعة ، حيث تسـتخدم معاملة حراريـة متوسـطـة للبن الزبـادي تتراوح بين 5 إلى 10 دقيقـة عنـد درجـة حرارة 85 مئويـة . ونتيجة للحفز المتبادل أثناء النمو المجمع لبكتيريا الزبادي في اللبن ، ينتج حامض اللاكتيك أكثر سـرعة مما هو متوقع على أسـاس إنتاج الحامض بواسـطة الزراعات التقنية الفردية . تحدث بعض المضادات الحيوية أيضاً في الزبادي الذي فيه البكتيريا المكورة لا تستطيع النمو بعد نشاط معين يتم

الوصـــول إليه . تكون العصـــي أقل حســـاســـية للحامض وتســـتمر في النمو . تعاون بدائي Protocooperation والمضاد الحيوي لهما أهمية كبيرة في نمو بكتيريا الزبادي وكذلك لجودة الزبادي (انظر أيضاً شكل 1.22) .



شكل 1.22 مخطط لتحفيز ولتثبيط نمو بكتيريا الزبادي في اللبن . ... ، تكوين حامض اللاكتيك ... ، تكون عوامل النمو ، ـ تحفيز ، --- تثبيط

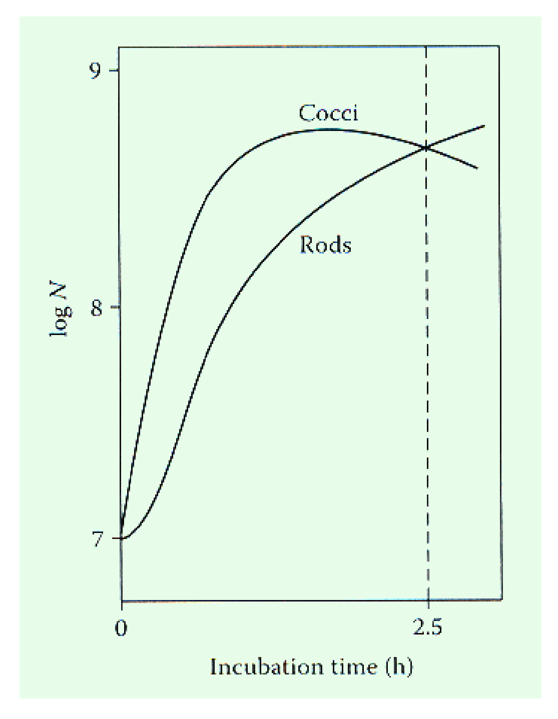
Figure 22.1 Outline of the stimulation and the inhibition of the growth of yogurt bacteria in milk. -.-.-.-.-, formation of lactic acid; ...., formation of growth factors; ———— stimulation; – – – – –, inhibition. (Adapted from F.M. Driessen, International Dairy Federation, Bulletin No. 179, 197-115, 1984)

تضـيـف البكتيريا المكورة cocci والعصـــوية معنوياً إلى لخواص الزبادي . يجب أن تتناغم خواص الســـلالات البكتيرية المســـتخدمة مع بعضـــها لأنه ليس كل مجموعة من الســـلالات يكون ملائماً . بالإضـــــافة إلى ذلك ، يجب أن توجد كلا النوعين بأعداد كبيرة في المنتج ، ومن ثم في البادئ . تعتمد نسبة كتلة النوعين على خواص السلالة وتكون غالباً 1:1 تقريباً . يتم المحافظة على

هذه النسبة بين بكتيريا الزبادي إذا كانت نسبة التلقيح 2.5 ، وقت التحضين هو 2.5 ساعة عند درجة حرارة 45 مئوية ، والحموضة النهائية هي من 90 إلى 100 mM (الأس الهيدروجيني 4.2) . نمو البكتيريا المكورة والعصي في الزبادي المحضن تحت هذه الظروف تم تمثيلها في شكل 2.22 . تحافظ النسبة بين الأنواع على التغيير . في البداية تنمو التسريبتوكوكي أسرع نتيجة لتكون عوامل نمو بواسطة العصي ومن المحتمل أيضاً أن يكون نتيجة للمركبات التي تضاف عن طريق التلقيح (خاصة في تصنيع مجموعة الزبادي) . بعد ذلك ، تقل البكتيريا المكورة بواسطة الحامض الناتج . بينما ، تبدأ العصي في النمو أسرع لأن عوامل النمو (ثاني أكسيد الكربون وحامض الفورميك) المتكون بواسطة البكتيريا المكورة . ونتيجة لذلك تستعاد النسبة الأصلية . يجب أن يكون الزبادي قد وصل للأس الهيدروجيني المطلوب . وباستمرار التحضين أو التبريد غير الكاف يسبب تفوق العصي .

تغير الظروف المذكورة سالفاً أثناء فترة الحضانة يغير من النسبة بين البكتيريا العصوية والمكورة كالتالي :

1. وقت التحضين Incubation time : وقت تحضين أقصر ، يعني حموضة منخفضة ، وهذا سوف يسبب ارتفاعاً كبيراً لنسبة البكتيريا المكورة . يمكن أن يسبب تكرار نقل بادئ الزبادي بعد تحضين قصير أثناء إنتاج البادئ أيضاً اختفاء البكتيريا العصوية من المزرعة . وعلى العكس من ذلك سوف يسبب مدد تحضين طويلة رجحان كفة بل زيادة البكتيريا العصوية .
2. نسبة التلقيح أو التطعيم Inoculum Percentage : سوف يسرع زيادة نسبة التلقيح معدل إنتاج الحامض . الحموضة التي عندها تكون البكتيريا المكورة بطيئة سوف يعني أنها قد وصلت مبكراً ، وينتج عن ذلك زيادة أعداد البكتيريا العصوية (لاحظ وقت التحضين واحد) . عند نسبة تلقيح أصغر ، سوف تنحرف النسبة بين البكتيريا إلى صالح البكتيريا المكورة .



شكل 2.22 نمو البكتيريا المكورة والعصوية في الزبادي (البادئ) المزروع عند درجة حرارة 45 درجة مئوية في لبن مسخن بشدة . نسبة تلقيح تساوي N.2.5 = العدد في المليمتر-1 . نتائج تقريبية

Figure 22.2 Growth of cocci and rods in yogurt (startes) cultured at 45°C in intensely heated milk. Inoculum percentage equals 2.5. N = count in ml^{-1}. Approximate results

3. درجة حرارة التحضين Incubation temperature : العصي لها درجة حرارة مثلى أعلى من البكتيريا المكورة . التحضين عند درجات حرارة أعلى قليلاً من 45 درجة مئوية سوف تنحرف النسبة لصالح البكتيريا العصوية ، سوف يسرع التحضين عند درجات حرارة أقل البكتيريا المكورة .

ومن الواضح ، أن النسبة الصحيحة بين الأنواع البكتيرية في البادئ يمكن الوصول إليها أو استرجاعها عند الحاجة بواسطة الاختيار السليم للظروف السائدة للنمو . عادة ، تستخدم بادئات مركزة مع التأكيد على المكونات البكتيرية الصحيحة في البادئ .

2.1.4.22 المواد الأيضية *Metabolites*

ستريبتوكوكس ثيرموفيليس *S. thermophilus* واللاكتوباسيلس ديلبريكس أنواع بلجاريكس *L. delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* تكون منتجات تؤدي إلى نكهة الزبادي كذلك إلى تركيبه وتماسكه الآتي يشمل المكونات الرئيسية :

1. حامض اللاكتيك Lactic acid : كلا النوعين من بكتيريا تكون حامض اللاكتيك من الجلوكوز . الجلاكتوز ، المتكون أثناء تحلل اللاكتوز ، لا يتحول . ومع ذلك ، يزداد التركيز المولاري للجالاكتوز كلما انخفض محتوى اللاكتوز (انظر البند 4) . يتحلل أغلب الجلوكوز بطريقة تخمرية متجانسة . ستريبتوكوكس ثيرموفيليس أشكال L(+) وديلبريكس أنواع بلجاريكي D(-) حامض الخليط . تنتج المتشابهات الأيزوميرية بكميات متساوية . (تحت فصل 2.5.22 تم مناقشة الجوانب الفسيولوجية بالنسبة لاستهلاك حامض اللاكتيك) . ثاني أكسيد الكربون ، وحامض الأسيتيك والإيثانول تنتج أيضاً ، ولكن بكميات صغيرة . محتوى حامض الأسيتيك للزبادي هو من 30 إلى 50 مليجرام . $كيلوجرام^{-1}$ (0.5 إلى 0.3 ملي مولر mM) والمحتوى الإيثانولي ، من 10 إلى 40 مليجرام . $كيلوجرام^{-1}$ (0.2 إلى 0.7 mM) . الإيثانول له مستوى نكهة عالية إلى حد ما وهي من المحتمل ألا تؤدي إلى نكهة الزبادي . محتوى حامض اللاكتيك للزبادي هو من 0.7 إلى 0.9% وزن/وزن (80 إلى mM100) .
2. الأسيتالدهيد Acetaldehyde (الإيثانال) : يكون هذا المكون ضرورياً للنكهة المميزة للزبادي . ويتكون أغلبها بواسطة البكتيريا العصوية .مادة بادئة هي الثريونين threonine (انظر تحت فصل 2.1.13) ، والذي يكون مكوناً طبيعياً في اللبن ، حتى عند تركيز منخفض . بالإضافة إلى ذلك ، تعطي تحلل الدهن بواسطة اللاكتوباسيلس التريونين . محتوى الأسيتالدهيد في الزبادي هو حوالي 10 مليجرام . $كيلوجرام^{-1}$ (mM0.2) .
3. داي أسيتيل $CH_3-CO-CO-CH_3$: ستريبتوكوكس ثيرموفيليس *S. thermophilus* وإلى درجة أقل ، اللاكتوباسيلس ديلبريكي *L. delbrueckii* أنواع بليجاريكس *bulgaricus*

تكون داي أسيتيل في طريقة تنتمي إلى ميكانيكية تتبع بواسطة ليوكونوستوك Leuconostocs وبواسطة لاكتوكوكس لاكتس أنواع لاكتس بيوفار . داي اسيتيلاكتس (تحت فصل 2.1.13) . لا تحلل بكتيريا الزبادي حامض السيتريك . وعلى ذلك ، حامض البيروفيك ، المتكون أثناء تكون السكر ، هو البادئ الوحيد للداي أسيتيل . يتراوح محتوى الداي أسيتيل للزبادي من 0.8 إلى 1.5 مليجرام . كيلوجرام$^{-1}$ (0.01 إلى mM0.02) .

4. سكريات عديدة Polysaccharides : يمكن أن تكون بكتيريا الزبادي طبقة شعرية Hairy أو جليكوكليكس Glycocalix والذي يحتوي على سلاسل سكريات عديدة ، يصنع من الجالاكتوز وجليسريدات أخرى . ويمكنها أن تفرز جزئياً داخل السائل وعند ذلك تسمى سكريات عديدة خارجية Exopoly saccharides (انظر تحت فصل 8.2.1.13) . تلعب السكريات العديدة دوراً هاماً في قوام الزبادي . خاصة في الزبادي المقلب Stirred yogurt (انظر النص التالي) . بالرغم من أن سلالات مختلفة تظهر تغيرات واضحة في كمية السكريات العديدة الناتجة ، هذا الاختلاف ليس له علاقة بالقوام المتكون، وخاصة نوع السكريات العديدة الناتجة يكون في غاية الأهمية .

2.4.22 التصنيع *Manufacture*

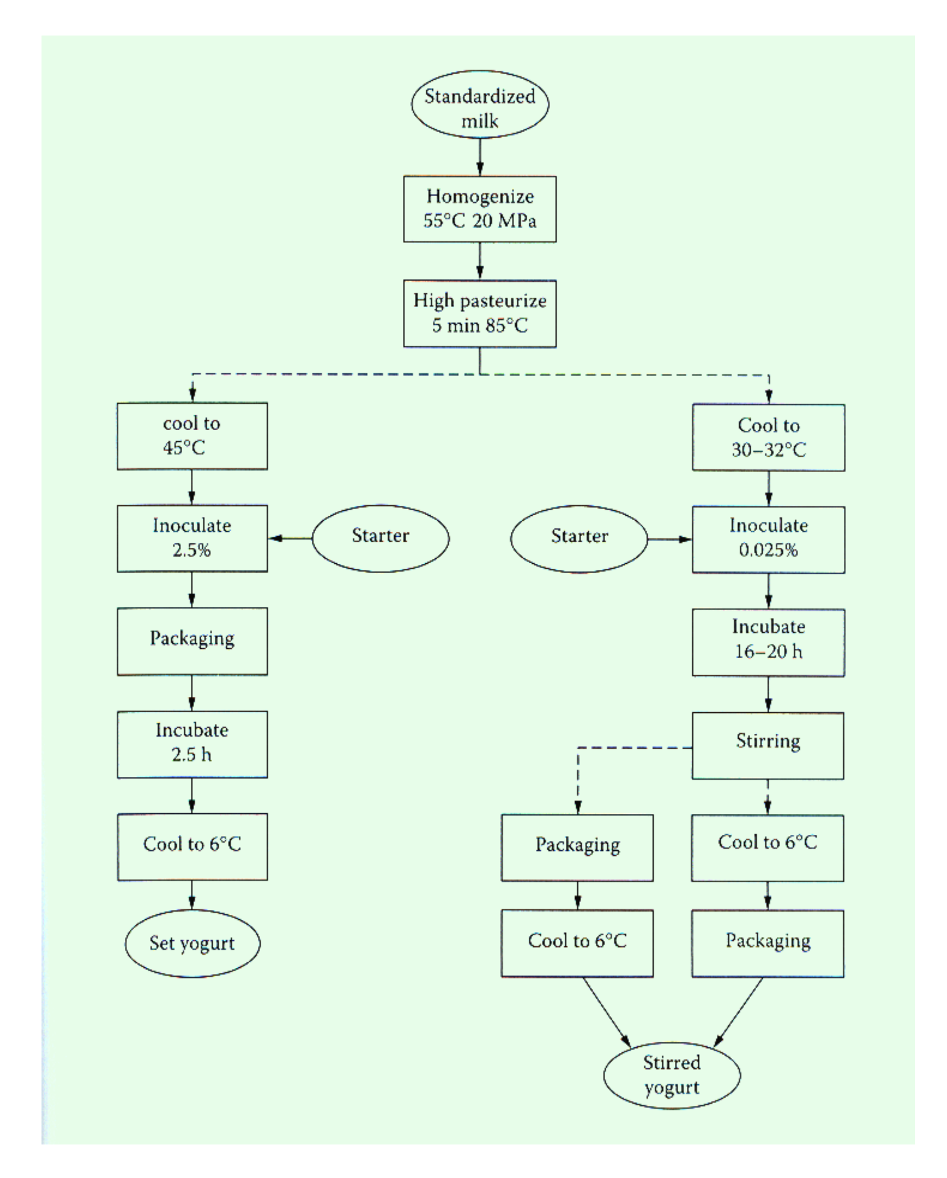
1.2.4.22 الزبادي الطبيعي *Natural Yogurts*

يصنع المنتج التقليدي الزبادي المتخثر Set yogurt من اللبن المركز . يسخن اللبن على نار مفتوحة open إلى أن يتبخر ثلث مائه . وبعد ذلك يسمح للبن أن يبرد ، وعندما تصل درجة حرارته إلى 50 درجة مئوية ، يحضن اللبن مع قليل من الزبادي . يتم بعد التخمر ، الحصول على هلام متماسك . عملية تصنيع متشابهة مازالت تستخدم إما بتبخير اللبن تحت التفريغ أو بإضافة مسحوق اللبن . ويمكن أن نستخدم نفس العملية لعمل الزبادي المخثر من اللبن غير المركز (انظر شكل 3.22) . يكون الزبادي المتحصل عليه ذا نكهة أقل ، وأقل تماسكاً وميالاً إلى التدميع Prone to syneresis (خروج الشرش Wheying off) . يضاف عادة عامل

مكون للهلام لكي نمنع خروج السائل من الحدوث ونسرع عملية التماسك ، خاصة إذا أضيف إليه قطع من الفاكهة . اختلاف آخر بين كلا المنتجان هو حموضتهما العيارية . ولأن نكهة مقبولة وقواماً جيداً يتم الحصـــول عليها عند أس هيدروجيني منخفض أي 4.5 ويكون للبن المركز قدرة تنظيمية أكبر ، ويتم تخميره إلى حموضـــة قدرها mM130 بينما تكون 90 إلى mM100 في حالة اللبن غير المركز .

نوع آخر هو الزبادي المقلب stirred yogurt ، ويصـنع عادة من اللبن غير المركز . بعد تكون الهلام ، يقلب بخفة لكي نحصل على قوام سميك ولكنه مازال منتجاً يمكن صبه (انظر شكل 3.22) هناك أيضـــاً بعض الفروق في عملية التصـــنيع . يخمر الزبادي المتخثر بعد تعبئته ، وهذا يقتضي أن التبريد النهائي يجب أن يتم في العبوة . يكون الزبادي المقلب كامل التخمر قبل تعبئته . فرق آخر هو أن ســلالات معينة فقط من بكتيريا الزبادي تنتج القوام الصـحيح أو الســماكة بعد التقليب ، وكذلك الحال فقط عندما يحضـــن عند درجة حرارة منخفضـــة . ومع ذلك ، فالبكتيريا تصـــنع مركبات نكهة عند حرارة منخفضـــة . ولكي نتأكد أن للزبادي المقلب نكهة زبادي مميزة ، فإنه يكون من الضروري أن البادئ ينمى تحت نفس ظروف الزبادي المتخثر ، أي حوالي 45 درجة مئوية وبنفس حجم اللقاح وزمن التلقيح لكي نصــل إلى أعداد مســاوية تقريباً من البكتيريا المكورة cocci واللاكتوباسيلي (العصوية lactobacilli) .

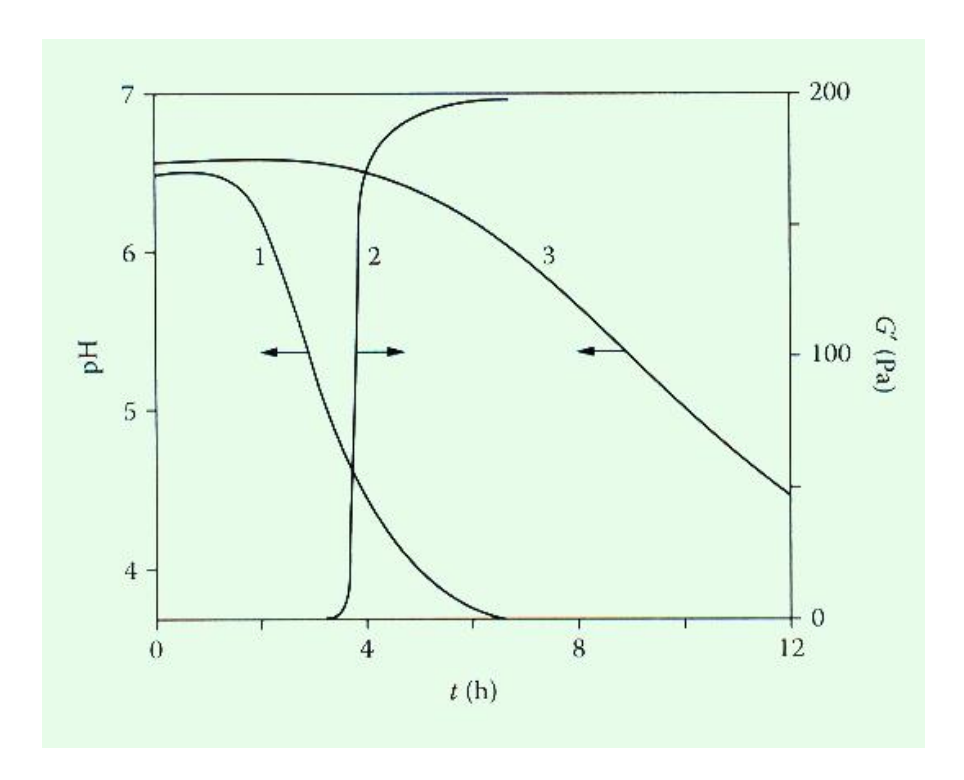
يختلف معـدل التحميض كثيراً في الزبـادي المتخثر والمقلـب نتيجـة للاختلافـات في حجم اللقاح ولدرجة حرارة التحضـــين . أمثلة تم توضـــيحها في شـــكل 4.22 ، والمحنيات 1 و 3 . المنحنى 2 يوضـــح تكوين الهلام كـدالـة على الوقـت ، ومن ثم الأس الهيـدروجيني للزبـادي المتخثر . تكون الهلام يبـدأ عنـدمـا يصـــل الأس الهيـدروجيني حوالي 4.7 وعنـدهـا تبدأ الصــلابة في الزيادة بســرعة ، لكي تصــل إلى أعلى قيمة في حوالي 20 دقيقة . عند صــناعة الزبادي المقلب ، يبدأ تكون الهلام عند نفس الأس الهيدروجيني ولكنه يأخذ وقتاً أطول قبل أن يصبح الهلام ذا قوامٍ كافٍ .



شكل 3.22 أمثلة لتصنيع الزبادي المتخثر والمقلب من اللبن كامل الدسم . الزبادي المتخثر عادة ما يصنع من اللبن المركز (1.4 = Q)

Figure 22.3 Examples of the manufacture of set yogurt and of stirred yogurt from whole milk. Set yogurt is often made from concentrated milk ($Q \approx 1.4$)

ســـوف يســـتمر التحميض ببطء ، بعد تبريد المنتج (فصـــل 2.13) . لتقليل أو حتى منع تقدم التحميض ، يبســتر الزبادي المقلب أو المنتجات الشـبيهة بالزبادي في بعض الأوقات ، وهذا أيضـاً يمنع نمو أي خمائر أو أعفان موجودة . ولكي نســمح لبســترة دون أن يصــبح المنتج غير مجنس ، فيجب إضافة عوامل مسببة للسماكة Thickening agents خاصة (البكتينات Pectins ، النشا المتحور Modified starch ، الجيلاتين Gelatin) .



شكل 4.22 العلاقة بين الأس الهيدروجيني أو معامل المرونة (G) ووقت التحضين (t) أثناء تصنيع الزبادي . المنحنيات 1 و2 للزبادي المتخثر ، المنحنى 3 للزبادي المقلب . أمثلة تقريبية

Figure 22.4 Relation between pH or elastic modulus (*G*') and incubation time (*t*) during yogurt manufacture. Curves 1 and 2, set yogurt; curve 3, stirred yogurt. Approximate examples

2.2.4.22 زبادي الشرب ***Yogurt Drinks***

تشـــتق عدة منتجات من اللبن المتخمر مع بكتيريا الزبادي ، ، مثل زبادي الشـــرب ، زبادي المثلوج اللبني ، وزبادي الفاكهة . بعد التخمير ، يمكن أن تضـــاف إضـــافات خاصـــة مع عمليات التصنيع الصحيحة ، لكي نحصل على منتج بنكهة مطلوبة ، لون ، وقوام محدد . سوف يناقش هنا تصنيع مشروب الزبادي ببعض التفصيل .

اللبن المخصـــص لتصـــنيع أغلب زبادي الشـــرب هو لبن الفرز القياســـي والذي تمت بســـترته لمدة 15 دقيقة عند درجة حرارة تتراوح بين 85 إلى 95 درجة مئوية . يخمر اللبن ببكتيريا الزبادي عند درجة حرارة 43 درجة مئوية حتى تصـــل إلى أس هيدروجيني حوالي 4 . يضـــاف أيضـــاً بعد التبريد إلى حوالي 20 درجة مئوية ، عصـــير الفاكهة ، السـكر ومســتحلب البكتين في الماء . يمكن أن تضاف عند الحاجة عوامل مكسبة للنكهة واللون . يقلب الخليط ببطء ويتم ضـــبط الأس الهيدروجيني بين 3.8 إلى 4.2 بواســـطة حامض اللاكتيك . وبعد ذلك يجنس المخلوط عند MPa20 لنشر البكتين . يكون إضافة ميثوكسي بيكتين لازماً لجعل شراب الزبادي ثابتاً ونحتاج إلى معاملة حرارية للســـماح للمنتج الحامض ، لأنها تمنع انفصـــال المصـــل . يمكن أن تســتخدم عوامل محافظة على الثبات أخرى ، مثل كربوكســـي- ميثيل ســيليلوز أو صـــمغ جار Guar gum . وأخيراً يتم معاملة زبادي الشـــرب بالحرارة لكي نطيل من مدة صـــلاحيته . هذه المعاملة الحرارية يمكن أن تكون البسترة عند درجة حرارة 75 مئوية لمدة 20 ثانية . بعدها يبرد المنتج ويعبأ تعبئة معقمة . وبالمقابل يمكن للمنتج أن يعامل بمعاملة حرارية فائقة UHT (110 درجة مئوية لمدة 5 ثوانٍ) ثم يبرد ويعبأ في عبوات معقمة . يكون المنتج الأخير معقماً وله فترة صلاحية طويلة . يجب ألا تكون مادة التعبئة منفذة للأكســـجين لكي نتجنب تكوّن نكهة مؤكســـدة . ولأن الاختلافات كثيرة في إضافات الزبادي والعمليات التالية تكون ممكنة ، فإن مشروبات متنوعة عديدة تظهر في الأسواق .

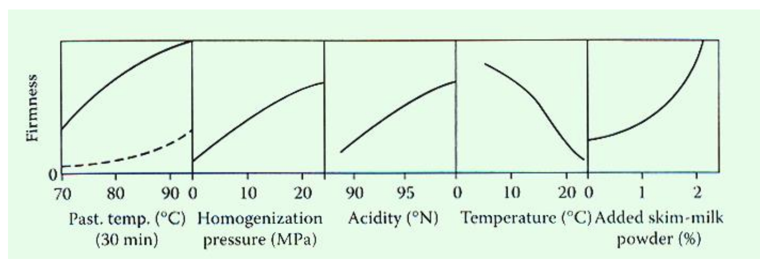
3.4.22 خواص فيزيائية *Physical Properties*

كما ذكر سابقاً ، التركيب الفيزيائي للزبادي هو شبكة من تجمعات جزيئات الكازين (انظر أيضاً تحت فصل 3.3.3) يترسب بداخلها جزء من بروتينات المصل نتيجة للدنترة الحرارية . وتحتوي الشبكة أيضاً على كريات دهن ومصل اللبن . تكون الثقوب الأوسع للشبكة أحجامها حوالي 10 ميكرومتر . يقتضي وجود شبكة مستمرة أن الزبادي هو هلام يتكون من مادة لزجة مرنة تمتاز بضغط صغير يقدر بـــ Pa100 . إذا تكسر الهلام ، كما هو الحال في الزبادي المقلب ، يتكون سائل غير نيوتيني لزج ، له معدل شير قوي وبالتالي له لزوجة ظاهرة . الزبادي المخثر والمقلب لهما ملمسان مختلفان . انظر أيضاً فصل 6.25 لمناقشة عن الخواص الريولوجية .

1.3.4.22 تماسك الزبادي المخثر *Firmness of Set Yogurt*

يقدر عادة تماسك الزبادي المخثر بخفض مجس لوزن معين وأبعاده داخل المنتج لبعض الوقت . يكون مقلوب عمق الاختراق هو مقياس للتماسك . لا يتعلق التماسك بشكل لصيق بمعامل مرن ولكن إلى ضغط حادث . تعتمد قيمته على طريقة القياس ، خاصة مقياس الوقت وعلى عدة منتجات وعمليات مختلفة (انظر أيضاً شكل 5.22) .

1. محتوى الكازين في اللبن Casein content of the milk : التماسك يتناسب تقريباً مع مكعب محتوى الكازين . تغير طبيعي في محتوى الكازين يمكن أن يكون لها تأثير ملموس . يزيد تبخير اللبن ، إضافة مسحوق اللبن الفرز ، أو الترشيح الفائق الجزئي يزيد التماسك .
2. محتوى الدهن Fat content : كلما زاد المحتوى الدهني ، كلما كان تكون الهلام ضعيفاً لأن كريات الدهن تخل بنظام الشبكة .
3. التجنيس Homogenizing : يؤدي تجنيس اللبن إلى تسريع للتماسك لأن كريات الدهن تحتوي على شظايا جسيمات الكازين في سطوحها المغطاة والتي يمكن أن تساهم في الشبكة عند التحميض (انظر أيضاً فصل 6.9 . يزداد كسر حجم الكازين بصورة واضحة (لا يضيف تجنيس لبن الفرز جديداً) .



شكل 5.22 تأثير بعض متغيرات المنتجات والعمليات التصنيعية على التماسك في (مقلوب عمق احتراق كرة) الزبادي المتخثر . الخط المتقطع يشير إلى الزبادي المصنوع من لبن غير مجنس . أمثلة تقريبية

Figure 22.5 The influence of some product and process variables on the firmness (reciprocal of the penetration depth of a ball) of set yogurt. The broken line refers to yogurt made of nonhomogenized milk. Approximate examples

4. المعاملة الحرارية Heat treatment : تسرع المعاملة الحرارية للبن عملية التماسك . ترسيب بروتينات المصل المدنترة يزيد كسر حجم البروتين المتجمع . وهي أيضاً يمكن أن يغير عدد وطبيعة الروابط بين جزيئات البروتين . يمكن أن يسخن اللبن لمدد تتراوح بين 5 إلى 10 دقائق عند درجات حرارة من 85 إلى 90 درجة مئوية .
5. زراعات الزبادي Yogurt cultures : وهذه تختلف في التماسك الذي تنتجه (عند حموضة معينة) ، ولكن كقاعدة ، تكون الفروق صغيرة .
6. الحموضة Acidity : عامة ، يكون الزبادي أكثر تماسكاً عند أس هيدروجيني منخفض . الأس الهيدروجيني المفضل هو بين 4.1 و4.6 .
7. درجة حرارة التحضين Incubation temperature : كلما انخفضت درجة الحرارة ، كلما طال الوقت قبل أن نصل إلى تماسك معين ، ولكن المنتج النهائي يكون أكثر تماسكاً.
8. درجة حرارة الزبادي Temperature of the yogurt : لنفس درجة حرارة التحضين ، تعطي درجات الحرارة المنخفضة درجة تماسك عالية . يكون التأثير قوياً للغاية (انظر شكل 5.22) . وسبب ذلك هو أن جزيئات الكازين تنتفخ عندما تكون درجة الحرارة منخفضة (وبالعكس) ، ولأن الجزيئات تكون مثبتة أساساً في الشبكة والأخيرة لا يمكن أن تنتفخ ، وهذا يقتضي أن

الاتصال أو مساحة الاتصال بين أي جسيمين يتسع والتي تتكون فيها أعداد كبيرة من الروابط لكل اتصال .

2.3.4.22 التدميع *Syneresis* (طرد السائل)

تدميع الكازين تمت مناقشته للهلام الناتج بالمنفحة في تحت فصل 4.4.24 وباختصار ، التدميع هو للجزء الأكبر نتيجة إعادة ترتيب الشبكة ، وهذا يؤدي إلى زيادة في عدد الاتصالات بين جزيء- جزيء . تميل الشبكة بعد ذلك إلى الانكماش ، وبالتالي تطرد السائل البين جزيئي . ليست هلامات الكازين الحامضي ميالة للتدميع . في الزبادي ، يكون التدميع غير مرغوب فيه طبعاً .

يعتمد الميل للتدميع عادة على درجة حرارة التحضين . إذا حضن اللبن عند 20 درجة مئوية (مع بادئ محب للحرارة المتوسطة لأن بكتيريا الزبادي تنمو بصعوبة عند تلك الحرارة) لدرجة يكون تكوّن الهلام عندها ممكناً .

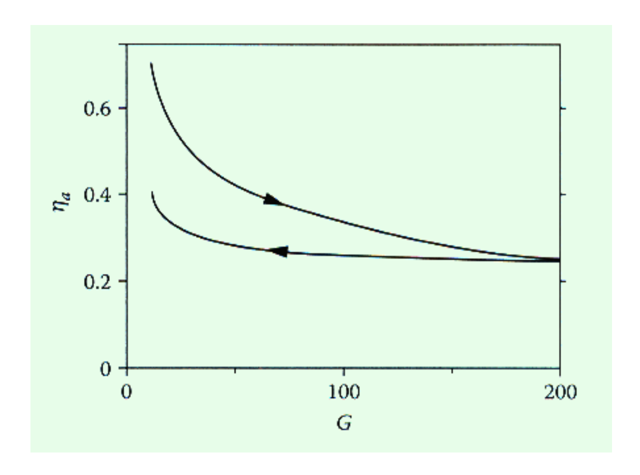
عندما نحضن عند درجة 45 مئوية ، يمكن أن نمنع التدميع فقط عندما نسخن اللبن بشدة ، وإذا تم زيادة محتوى الكازين ، وتم التخزين عند درجة حرارة منخفضة . ومع ذلك ، إذا تم رج العبوة التي تحتوي على المنتج عندما يبدأ الهلام في التكون أو عندما يكون ضعيفاً ، يمكن أن يحدث تكسير محلي للهلام ، مع حدوث تدميع شديد مصاحب . إذا كان السطح العلوي للزبادي المتخثر مبللاً ، يسبب تكثف الماء داخل غطاء العبوة حيث تسقط قليل من القطرات . انفصال الشرش يمكن أن يحدث . إذا كان الأس الهيدروجيني للزبادي قد انخفض تحت 4 ، قد يحدث بعض التدميع ، وخاصة إذا كانت درجة الحرارة عالية وتم خض العبوة . عبوات مصنوعة من مادة لا يلتصق بها الهلام سوف تحدث فصل للشرش بين الجدار والمنتج .

في صناعة الزبادي المقلب ، تدميع معنوي سوف يؤدي إلى منتج رديء . التقليب يكسر الهلام إلى كتل ، والتي سوف تؤدي إلى تدميع فوري . يتكون مخلوط غير مجنس من الكتل في الشرش ، تقليب أكثر سوف يكسر الكتل ويصنع منتج أكثر نعومة ، ولكنه سوف يصبح غير كاف اللزوجة . ولكي نمنع ذلك ، فيجب أن يحضن اللبن عند درجة حرارة منخفضة أي 32 درجة مئوية أو حتى أكثر انخفاضاً ، إذا كان محتوى الكازين في اللبن قليلاً .

3.3.4.22 لزوجة الزبادي المقلب *Viscosity of stirred Yogurt*

يجب أن يكون الزبادي المقلب ناعماً ولزجاً . يعطي المنتج الجيد أيضـاً الإحساس بأنه طويل أو حبلي ، عندما يصب ببطء يتكون في الحال خيط رفيع والذي يكون مرناً إلى حد ما عندما تتكسر . اللزوجة يتم قياسها بسهولة بواسطة كوب فورد Ford cup ، يسمح لكمية معينة من الزبادي بالانسياب من فتحة عند النهاية السفلية المخروطية للكوب ، والوقت اللازم لذلك يكون مقياس اللزوجة .

المنتج له معدل شير رفيع ، كما هو موضح في شكل 6.22 . يوضح الشكل أيضاً تخلفية هامة Considerable hesteresis . بعد تطبيق معدل شير عالي ، فإن اللزوجة الظاهرية عند معدلات شير منخفضة تقل باستمرار والسلوك اللزج يصبح أكثر قرباً من الحالة النيوتونية . ويقتضي هذا تكسيراً للتركيب . (تزداد اللزوجة ببطء كلما طالت فترة الثبات) . ويتفق هذا مع سلوك السائل المحتوي على شظايا هلام .



شكل 6.22 مثال للزوجة الظاهرية (η_a بالبسكال . ثانية Pa.s) للزبادي المقلب كدالة على معدل الشير (G بالثانية$^{-1}$)، قبل وبعد عملية القص shearing عند 200 ثانية$^{-1}$

Figure 22.6 Example of the apparent viscosity (η_a in Pa . s) of stirred yogurt as a function of the shear rate (*G* in s^{-1}), before and after shearing at 200 s^{-1}

السائل المحتوي على شظايا هلام . تزداد اللزوجة مع لزوجة السائل المستمر (المذيب أو الشرش) ومع الكسر الحجمي φ لشظايا الهلام . تكون الأخيرة أكبر من الكسر الحجمي لجزيئات الكازين لأن الشظايا تحتوي على كمية كبيرة من المذيب البيني . يكسر التقليب الشديد (معدل شير عالي) شظايا الهلام ويعطيها أيضاً شكلاً مستديراً ، وبذلك يقلل الكسر الحجمي φ . اللزوجة الظاهرة عند معدل شير معين للزبادي المقلب تعتمد على :

1. تماسك الهلام قبل التقليب Firmness of the gel befor stirring : كلما ارتفع تماسك الهلام كلما كبر الكسر الحجمي φ بعد التقليب . العوامل المحددة للتماسك تم سردها ومناقشتها سابقاً .
2. شدة التقليب Intensity of stirring : كلما كان التقليب شديداً كلما انخفضت اللزوجة الظاهرية ، ولكن أيضاً يصبح المنتج الأملس The smoother وبالتالي نحتاج إلى هلام عالي التماسك لكي نسمح بالتقليب الشديد دون أن يصبح المنتج رفيعاً للغاية too thin .
3. التدميع Syneresis : كلما كان التدميع (خروج السائل) أكثر بعد التقليب ، كلما كانت اللزوجة أقل ويصبح المنتج أكثر كتلاً . القابلية لتكون التدميع تكون أقل بالنسبة للهلام الأكثر تماسكاً وخاصة عند درجة حرارة تحضين منخفضة .
4. السلالات البكتيرية المستخدمة Bacterial Strains applied : من المفيد أن نضيف أن إنتاج السكريات العديدة الخارجية الأكبر يحدث في المذيب الأعلى لزوجة ، وكذلك الحال بالنسبة للزبادي . تكون زيادة لزوجة المذيب صغيرة ، والزيادة في لزوجة المنتج لا ترتبط بعلاقة متبادلة مع إنتاج السكريات العديدة . ومع ذلك يحدث تغيير هام بين السلالات . ويظهر أن هذا يكون راجعاً إلى التغيرات في عدم تشابه الهلام المتكون . يعطي الهلام غير المتشابه كتلاً كبيرة عند التقليب ، والمنتج الأكثر تجنيساً ، وزبادي مقلب أكثر لزوجة وملمساً . والسؤال هو كيف تؤثر البكتيريا المنتجة للسكريات العديدة على الهلام غير المتجانس ؟ والإجابة على ذلك ليست واضحة تماماً .

تقليب شديد للزبادي المقلب أثناء عمليات تصنيع أكثر يجب تجنبها لكي نمنع المنتج من أن يصبح أقل سماكة أي رفيعاً للغاية too thin (مائي) يمكن أن تحدث عطب لآلات التعبئة.

4.4.22 عيوب النكهة وعمر الصلاحية *Flavor Defects and shelf life*

مشكلة جودة رئيسية مع الزبادي هي أن التحميض يميل إلى الحدوث بعد البيع بالتجزئة . يمكن أن يصبح المنتج أكثر حموضة عندما يستهلك ، تميل النكهة الحامضية إلى أن تصبح أكثر وضوحاً للزبادي قليل الدهن ، بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أن يصبح الزبادي مراً نتيجة للتحلل البروتيني الشديد ، يعتمد هذا أيضاً على سلالات البادئ المستخدم . نمو هذه العيوب عادة ما تحدد مدى الصلاحية . وطبعاً يبرد المنتج لكي نقلل عملية التحميض ، ولكن من الصعب أن نبرده بسرعة كافية . يحمض الزبادي المتخثر في العبوة ولا يمكن تقليبه ، الزبادي المقلب يجب ألا يقلب بشدة لأنه سوف يصبح رقيقاً للغاية (مائي) . وحتى عند درجة حرارة المبرد ، التحميض وتفسيرات أخرى يسببها الجهاز الإنزيمي وإن يكن بطيئاً .

يمكن أن تكون عيوب أخرى نتيجة للكائنات الحية ، وخاصة الخمائر والأعفان . النكهات غير المرغوبة يمكن وصفها مثل نكهة الخميرة ، نكهة الفاكهة ، نكهة الجبن ، نكهة متعفنة أو مرة وغالباً صابونية- متزنخة . حد النكهة يتم الوصول إليه عادة عند عد حوالي 10^4 بالنسبة للخمائر والأعفان لكل مليلتر . يحدد نمو هذه الميكروبات بواسطة كمية الأكسجين المتواجدة ومن ثم بواسطة حجم الفراغ في قمة العبوة ، ونفاذية العبوة للهواء .

عيب آخر هو نكهة مميزة غير كافية نتيجة لنقص تكون الأسيتالدهيد (والتي تكون أقل أهمية في الزبادي بالفواكه) . وهذا يمكن أن يكون نتيجة لدرجة حرارة التحضين المنخفضة ، نمو زائد لبكتيريا ستريبتوكوكي *Streptococci* أو اللاكتوباسيللي *lactobacilli* المنتجة لنكهة ضعيفة . تحميض غير كاف نتيجة لتلوث اللبن بالبنسلين Penicillin ، ويؤدي أيضاً إلى منتج ليس له طعم . وأخيراً ، يمكن أن يسبب النكهة غير المرغوب فيها في اللبن المستخدم في التصنيع عيوب نكهة في المنتج .

5.22 جوانب مغذية *Nutritional Aspects*

اللبن هو غذاء كامل . تحدث تغيرات كثيرة لمكونات اللبن أثناء التخمير ، بالرغم من أنه لا يوجد فرق معنوي بين المكونات الرئيسية للبن المتخمر وغير المتخمر . حدث تقدم كبير في توضيح تأثيرات نافعة معينة للبن المتخمر في الحيوانات ، نتيجة للتغيرات الحادثة في اللبن أثناء التخمر . ومع ذلك ، شواهد وبادئة وتجارب مطلقة لا لبس فيها مازالت في حاجة لأن تجمع معاً لكي ندعي تأثيرات مشابهة في الإنسان . ستناقش بعض الجوانب الصحية الهامة عند مقارنة اللبن المتخمر باللبن السادة في النص التالي .

بعض التأثيرات الأخرى والمهددة للصحة نتيجة لاستهلاك الزبادي قد تم اقتراحها، ولكن هذه لم تظهر معنويتها أو على الأقل غير مؤكدة ، وهذه سوف لا تذكر في المناقشة لهذا السبب .

1.5.22 المكون *Composition*

1. محتوى اللاكتوز Lactose Content : يقلل التخمر محتوى اللاكتوز ، ولكن لا يسمح له أن يستمر إلى أس هيدروجيني منخفض الذي يسمح بتكسير زائد للسكر يكون غير ممكن لأن المنتج الناتج سوف يصبح حامضياً للغاية . عند محتوى حامض لاكتيك قدره 0.9% يكون التخمر عادة بطيئاً بالتبريد . تنفصل حوالي 20% من اللاكتوز في اللبن إذا خمر كل من الجلوكوز والجالاكتوز في الزبادي ، ينفصل ضعف هذا اللاكتوز لأن أغلب بكتيريا الزبادي لا تحلل الجالاكتوز .
2. محتوى الفيتامين Vitamin content : تحتاج بكتيريا حامض اللاكتيك عادة فيتامينات B معينة للنمو ويمكن أن تنتج فيتامينات أخرى . وعلى ذلك ، تحدد خواص المزارع المستخدمة المدى الذي يصل إليه تركيزات الفيتامينات في اللبن المخمر والتي تختلف عن تلك الموجودة في اللبن الأصلي . في الزبادي تكون مستوى أغلب الإنزيمات منخفضة إلى حد ما ، يمكن أن يزداد محتوى حامض الفوليك. أيضاً بعض بكتيريا حامض اللاكتيك يمكن أنت تنتج فيتامين

K_2 . يتأثر محتوى الفيتامين في المنتجات المخمرة أيضـاً بظروف التخزين وخاصـة بواسـطة المعاملة المسـبقة Pretreatment للبن . فمثلاً ، تؤدي المعاملة الحرارية للبن إلى خفض فيتامينات B_1 ، B_{12} ، C وحامض الفوليك (انظر فصل 4.16) .

3. تكون تغيرات أخرى نتيجة للفعل البكتيري من الناحية التغذوية غير معنوية .
4. يمكن أن يتغير المكون بواسطة خطوات العملية مثل التقييس والترشيح الفائق وبإضافة مسحوق اللبن الفرز ، والكازينات ، والمثبتات ، ومكسبات النكهة ، ولب الفاكهة .

2.5..22 القيمة الغذائية *Nutritional Value*

1. محتوى طاقة اللبن كغذاء Edible energy : لا تسبب عملية التخمير في حد نفسها تغيرات في محتوى طاقة اللبن . يقلل تحول اللاكتوز إلى حامض اللاكتيك من قيمة الطاقة بنسبة صغيرة .
2. عدم تحمل اللاكتوز Lactose intolerance : المسـتهلكون اللذين لا يتحملون اللاكتوز يمكن أن يهضموا منتجات اللبن الحامض مثل الزبادي أكثر من اللبن السادة . يلعب محتوى اللاكتوز المنخفض دوراً . بالإضـافة إلى ذلك ، عوامل أخرى يجب أن توجد والتي تسـبب هضماً أسهل للاكتوز . نشاط إنزيم اللاكتيز لبكتيريا الزبادي وكذلك تحفيز نشاط اللاكتيز للغشاء المخاطي للأمعاء بواسـطة الزبادي تم إثبات مسئوليته عن ذلك . وبالمقابل ، يمكن تأخير اسـتنـزاف محتوى المعدة داخل الإثنى عشـر عندما تسـتهلك الألبان المتخمرة ، وبالتالي ، مدة تلامس إنزيمات التحلل المائي للاكتوز مع المادة البادئة Substrate سـوف تطول ، وينتج عن ذلك هضم جيد للاكتوز .
3. ضبط الأس الهيدروجيني pH adjustment : يسـبب اسـتهلاك الألبان المخمرة زيادة الأس الهيدروجيني لمحتوى المعدة وبالتالي تقلل من خطورة مرور مسـببات الأمراض . وهذا يكون ذا

أهمية كبيرة للأشخاص الذين يعانون من إفرازات ضعيفة للعصير المعدي ، أي للأفراد المسنين والأطفال .

4. الفعل المضـــاد للميكروبات Antimicrobial action : بكتيريا حامض اللاكتيك يمكن أن تكون مضادات حيوية والتي تقضي على مسببات الأمراض في المعمل . المعنى البيولوجي لهذه المركبات في تثبيط التهابات المعدة والأمعاء ليس تام الوضوح (انظر تحت فصل 3.5.22) .

5. نوع حامض اللاكتيك Lactic acid type : نوع حامض اللاكتيك المتكون له معنى فسيولوجي معنوي . المتشابهات الإيزوميرية Stereoisomeres لحامض اللاكتيك توجد : حامض اللاكتيك دكسترو الدوران D(-) وحامض اللاكتيك ليفوالدوران L(+) . حامض اللاكتيك L(+) يمكن أن يحدث له عملية أيض في الجسم ولكن حامض اللاكتيك D(-) يحدث له أيض بمعدل أبطأ . يزال الحامض الأخير جزئياً من الجسم عن طريق البول في الزبادي التقليدي من 40% إلى 60% من حامض اللاكتيك يكون ليفوالدوران L(+) ، وتكون بواسطة البكتيريا لاكتوباسيليس ديلبريكي *Lactobacillus delbruedckii* spp. *Bulgaricus* . يمكن أن يسبب هضم كميات كبيرة من حامض اللاكتيك دكستروالدوران D(-)حموضة acidosis ، مسبباً بعض الضرر للأنسجة . الأطفال يكونون أكثر حساسية لأمراض الحموضة من الكبار . قبل 1974 أوصت منظمة الصحة العالمية بجرعة يومية لد D(-) لاكتيت أقل من 100 مليجرام لكل كيلوجرام من وزن الجسم . هذه القيمة المحددة ليس لها تأثير عملي للكبار ، لأن 75 كيلوجرام وزن الجسم سوف يسمح بهضم 1.5 لتر زبادي لكل يوم . التوصية تم سحبها ، وبرغم ذلك ، لا يجب إعطاء كثير من حامض اللاكتيك D(-) للأطفال أصغر من 3 شهور .

3.5.22 الكائنات الدقيقة قبل الحيوية *Probiotics*

المصطلح قبل حيوي ظهر لوصف مزارع كائنات حية تؤثر بشكل إيجابي على صحة الإنسان أو الحيوان وذلك بإصلاح الفلورا الدقيقة الداخلية ، خصوصاً في المجرى المعدي المعوي. محدد هام للكائنات الدقيقة قبل الحيوية probiotic microorganism هو قدرتها للوصول ،

والبقاء في الوســـط الذي تعمل فيه . تتكون الكائنات قبل الحيوية من أنواع من بكتيريا حامض اللاكتيـك والبيفيرو bifidobacteria التي تكون قـادرة على مقـاومـة الأس الهيـدروجيني للمعـدة ومقاومة لأملاح الصفراء الموجودة في الأمعاء . ويجب أن تكون ذات أصل آدمي وتكون قابلة على التثبت بالخلايا الطلائية للأمعاء . لا تســـتطيع الكائنات الدقيقة قبل الحيوية التأثير على الوســـط الذي تعيش فيه إلا إذا وصلت عشيرتها مستوى معيناً ، والذي يكون عادة بين 10^6 و 10^8 CFU لكل جرام من محتوى الأمعاء . ولكي تصـــل إلى هذا المســـتوى ، يجب أن تكون الكائنات قبل الحيوية قادرة على تكوين مســتعمرة وتكون قادرة على النمو في مجرى الأمعاء . ويظهر أن اللفائفي والقولون هي الأماكن المفضـلة لعمل مسـتعمرات بكتيريا اللاكتوباسـيلي والبيفيدو في الأمعاء على الترتيب .

غالباً ما تستخدم الألبان المتخمرة كمصدر للحصول على الكائنات قبل الحيوية ويجب أن تحتوي على أعداد كبيرة لهذه الكائنات الدقيقة . ومع ذلك لا تستطيع كثير من سلالات الكائنات قبـل الحيويـة النمو الجيـد في اللبن وتحتـاج إلى ســـلالات منعمـة غـالبـاً مـا تكون *S. thermophilus* و/أو *Lb. delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* . وهـذا يمنح الألبان المتخمرة قبل الحيوية صفات الزبادي .

كفاءة الكائنات الدقيقة قبل الحيوية في إنتاج تأثير صـحي معين بعد الالتصـاق وتكوين المستعمرات يحتاج على الأقل إلى بعض الاشـتراطات الإضـافية ، إنتاج مواد مضـادة للميكروبات، مضـادات ضـد مسـببات الأمراض ، وتنافس على أماكن تشـبث والتصـاق . بمسـاعدة هذه الميكانيكيات ، يمكن أن تكون الكائنات قبل الحيوية نافعة في إحداث توازن في فلورا الأمعاء بعد اختلالها بواسطة الإسهال المتعلق بالمضاد الحيوي أو الإسهال التي تسببه الفيروسات . أيضاً ، هذه التأثيرات تم إثباتها في الإنســان في دراســات أكلينيكية جيدة التخطيط لســلالات معينة لبكتيريا مختلفة مثل *Lb. acidophilus* ، *Lb. rhamnosus* ، *Lb. johnsonii* ، *Bifidobacterium lactis* .

تأثير آخر مقترح لبكتيريا حامض اللاكتيك والبيفيروباكتيريا . في الإنسان هو تحفيز الجهاز المناعي . هذا الجهاز العائل يظهر أنه يسرع بواسطة التنشيط غير النوعي للخلايا البيضاء الأكولة Phagocytes وزيادة نشاط خلايا الدفاع المناعي . ومع ذلك ، في الحالات الصحية ، يكون التأثير المناعي عادة غير ملاحظ ، وعلى ذلك يظهر أن الكائنات قبل الحيوية لا تحور التأثير المناعي المتوازن . وأيضاً ، يكون شواهد أكلينيكية لهذا التأثير المناعي محدوداً ، يحاول الإنسان إيجاد إثبات محدد آخر لقيمة هذا النشاط قبل الحيوي .

يعتقد أن لبعض الكائنات قبل الحيوية خواص مضادة للسرطان . أغلب الدراسات التي تبحث في التأثيرات المضادة للأورام والمضادة للسرطان تم إجراؤها في الحيوان ، وهناك شواهد علمية معنوية قليلة تدعم أياً من هذه الاستجابات في الإنسان . أوضحت دراسات في نماذج حيوانية أن تعاطي البكتيريا Lyophilized bifidobacteria يمكن أن يقلل احتمالات الإصابة بالسرطان . إنزيمات عديدة للفلورا الدقيقة الداخلية لها القدرة على إحداث طفرات من المكونات الغذائية وسلالات معينة من الكائنات قبل الحيوية يمكن أن تنظم نشاط هذه الإنزيمات .

اقترحت بعض الدراسات تأثير مخفضاً للكولسترول لبكتيريا تخمر اللبن ، المشتملة على الكائنات قبل الحيوية . دراسات لم تؤكد هذه النتائج . وسواء كانت هذه البكتيريا تستطيع خفض كولسترول المصل أم لا فإن الموضوع يبقى بلا حسم .

الخلاصة ، أعزيت تأثيرات صحية إلى الألبان المتخمرة عادة على أساس سردي قصصي، ومع ذلك ، فإن بعض التأثيرات الصحية لكائنات دقيقة قبل حيوية مختارة تم إثباتها . مازالت ادعاءات كثيرة لتأثيرات صحية تحتاج إلى تأكيد .

4.5.22 مكونات غذائية قبل الحيوية ***Prebiotics***

وتعرف بأنها مكونات غذائية غير قابلة للهضم والتي تؤثر صحياً على المستهلك بتحفيز النمو لواحد أو عدد محدود من البكتيريا في القولون . وهي مادة تحور مكونات الفلورا الدقيقة الموجودة في الأمعاء بطريقة أن قليلاً من البكتيريا النافعة صحي (خاصة اللاكتوباسيللي والبيفيدوباكتيريا) تصبح سائدة وبأعداد كبيرة . هذه المكونات تتكون من مواد كربوهيدراتية قصيرة السلسلة والتي تكون صعبة الهضم بالنسبة لإنزيمات الإنسان والتي يمكن تسميتها سكريات قليلة غير قابلة للهضم Nondigestible oligosaccharides وهناك عدة أمثلة للسكريات القليلة الهضم مثل الفركتو-والجالاكتوساكاريدات Fructo- and galacto-oligosaccharides تكون أهم المكونات الغذائية قبل الحيوية . الأولى عبارة عن بلوليمرات ذات أصل نباتي والأخيرة تنتج من اللاكتوز بواسطة عملية إنزيمية هي Transgalctosylation والمكونان يحفزان نمو البيفيدوباكتيريا في القولون . أيضاً يحتوي اللبن الآدمي على سكريات قليلة ناتجة عن اللاكتوز والتي تحفز عشائر الفلورا بيفيدو Bifidus flora في الرضع المتغذية بلبن الثدي . بالإضافة إلى أن هذه السكريات القليلة من المحتمل أن يكون لها دور في منع العدوى أثناء الرضاعة من الثدي . اللاكتوز والسكريات الثنائية المشتقة ، لاكتيلوز Lactulose واللاكتيتول Lactitol لها تأثير قبل حيوي Prebiotic effects ، تتحلل هذه المواد مائياً ببطء أو قد لا تتحلل بإنزيمات الهضم في الإنسان ويمكن أن تصل إلى القولون حيث تؤثر على مكونات الفلورا الدقيقة .

التأثيرات الفسيولوجية للمواد قبل الحيوية تم تسجيلها في دراسات عديدة في الإنسان وهي تحسن معدل التبرز والذي من المحتمل أن يكون لدورها في تثبيت البفيدوباكتيريا السائدة كفلورا دقيقة في القولون . تقلل التغذية على السكريات تركيز الأمونيا في البراز والمواد المتحللة . في النموذج الحيواني ، التأثير التثبيطي للمواد قبل الحيوية على تنشيط مسببات السرطان لمنتجات محفزة لسرطان القولون تم توضيحها . تعديل جهاز المناعة بواسطة المواد قبل الحيوية قد تم اقتراحه . ليس من المحتمل أن المادة قبل حيوية تؤثر مباشرة على الجهاز المناعي ، ولكن تغير البيئة

المعوية يمكن أن يسرع تنشيط الجهاز المناعي . دراسات عديدة تم إجراؤها على النموذج الحيواني وعلى الإنسان قد أوضحت تأثير المواد قبل الحيوية . ومع ذلك وبسبب أن ليس كل التأثيرات الصحية المقترحة تم إجراؤها بتجارب أكلينيكية آدمية صارمة ، ولأن الميكانيكيات التي تتم بها هذه التأثيرات ليست دائماً مفهومة وعلى ذلك يكون واضحاً أننا نحتاج إلى دراسات أكثر لكي نؤكد تأثيرات المواد قبل الحيوية المزعومة .

مراجع مقترحة ***Suggested Literature***

جوانب عديدة لتصنيع وخواص الألبان المتخمرة :

Fermented Milks; Science and Technology. Bultetin of the International Dairy Federation No. 227, 1988.

منتجات لبنية متخمرة عديدة :

F.V. Kosikowski and V.V. Mistry. Cheese and Fermented Milk Foods, 3rd ed., two volumes, published by the authors. 1997.

معاملة عامة للزبادي وصناعته :

A.Y. Tamime and R.K. Robison, Yoghurt; Science and Technology. 2nd ed, Wordhead. Cambridge, U.K. 1999.

تصنيع الزبادي الصناعي :

A.Y. Tamime and V.M.E. Marshall, Microbiology and technology of fermented milks. In : B.A. Law, Ed., Microbiology and Biochemistry of Cheese and Fermented Milk, Blackie Academic and Professional, London, pp. 57-152, 1997.

نظرة نقدية عن الكائنات الدقيقة قبل الحيوية :

A critical Review, Horizon Scientific Press, Norfolk, 1999.

Part IV الجزء الرابع

Cheese الجبن

23 أساسيات عمل الجبن *Principles of Cheese Making*

23 أساسيات عمل الجبن *Principles of Cheese making*

يتم الاقتراب من عمل الجبن بطرق مختلفة وفي هذا الجزء من الكتاب تم تقديم الجزئين الثاني والثالث ، لأن العمليات وخواص المنتج يتم مزجها بقوة في إنتاج الجبن (ماعدا بعض العمليات المستخدمة للبن قبل التجلط) .

معلومات أساسية توجد في تحت فصل 4.4.2 و5.4.2 وفصل 3.3 والباب السابع والثالث عشر .

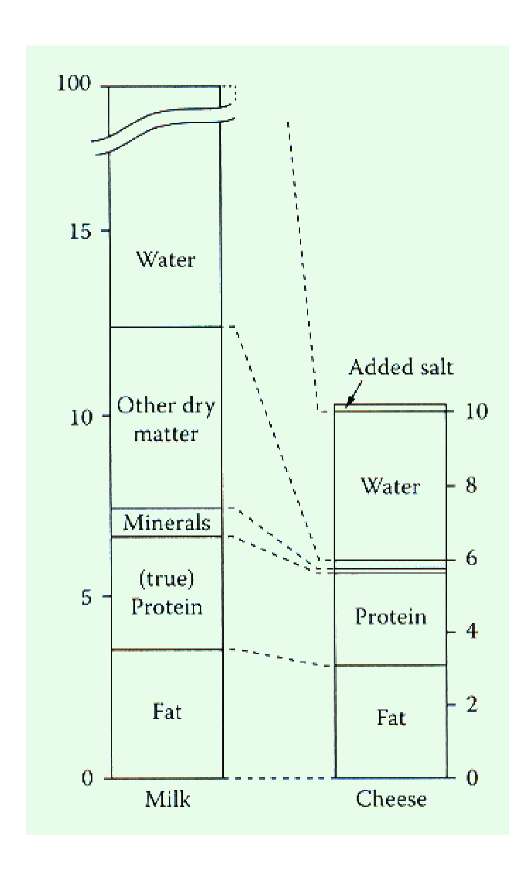
في هذا الباب يتم تناول وعرض تصنيع الجبن ونضجه لنقدم شبكة مفصلة عنها في الأبواب التالية .

1.23 مقدمة *Introduction*

عندما يترك اللبن الطازج لكي يصبح حامضاً ، يتجمع الكازين . وإذا حدث التحميض عند درجة حرارة ليست منخفضة للغاية وبدون أي تقليب أو رج للبن ، يتكون الهلام . وعندما يحفظ اللبن المتجلط أو الهلام لبعض الوقت يحدث فصل الشرش عادة . وهذا يمكن تسريعه بواسطة التسخين والتقليب ، الكتلة يتم فصلها إلى حبيبات الخثرة والشرش . وبصرف مزيد من الشرش من الخثرة وبتعليق الخثرة في قطعة من القماش يتم الحصول على جبن طازج بدائي (جبن الخباز كارج Quarg أو خثرة Curds) .

وهذا هو أصل عمل الجبن . ولعدة قرون مضت تم تجلط اللبن بإضافة عوامل خاصة آلية ، وخصوصاً المنفحة ، مستخلص معدة العجل . لقد تم اكتشاف أن معدة الحيوان المذبوح يمكن استخدامها لتخزين اللبن . وقد استخدمت أيضاً عوامل مسببة للتجلط ذات أصل نباتي

مختلفة . مثل أزهار كاردون Cardoon flowers ، أو مستخلص أشجار التين . فن تحويل اللبن إلى خثرة وشرش قديم جداً . ويصاحب ذلك عملية تحميض ناتجة عن وجود بكتيريا حامض اللاكتيك . لكي نصنع جبناً حقيقياً ، نحتاج إلى خطوات عمليات أخرى هي التشكيل (عادة بالضغط) ، التمليح ، المعالجة . هذه الخطوات سوف تظهر وتتطور لتؤدي إلى ظهور أنواع جبن ذات تنوع كبير : ومع ذلك ، كل الأجبان لديها أشياء قليلة مشتركة .



شكل 1.23 مثال لمكونات اللبن والجبن ولنقل المكونات من اللبن إلى الجبن (مقياس الرسم بالكيلوجرام)

Figure 23.1 Example of the gross composition of milk and cheese and of the transfer of components from milk to cheese. (Scales are in kg)

- الجزء الأكبر من الكازين ودهن اللبن يتم تركيزه في الجبن ، والتي تكون بالتالي منتجات مغذية .
- الأجبان تحفظ فترة أطول من اللبن ، ومن اللبن المتخمر . أثناء الحفظ هناك تغيرات تحدث في خواصها وهذا ما يسمى بالنضج ripening or maturation .
- الأجبان عادة لها نكهة مميزة نتيجة للعدد الكبير من مركبات النكهة التي تكونت أثناء النضج . عملية النضج خاصة تظهر اختلافاً كبيراً .

عندما يصنع اللبن إلى جبن ، يتم تركيز الكازين والدهن ، بينما يتم إزالة مكونات الألبان الأخرى خاصة الماء ، مع الشرش . أي أن مكونات اللبن لا يتم استرجاعها بالكامل ومواد جديدة يمكن أن تضاف ، وخاصة الملح . وهذا توضيحه في شكل 1.23 . يمكن تحديد حصيلة المنتج ومكونات الجبن بواسطة خواص اللبن ، خاصة مكوناته ، وبواسطة خطوات التصنيع . الفهرس 12.A يعطي المكون التقريبي لبعض أنواع الجبن .

عمل الجبن عملية معقدة ، تشتمل على خطوات عمليات كثيرة وتحولات بيوكيميائية عديدة . كل هذه المتغيرات تؤثر على حصيلة المنتج ، المكونات ، ونوعية الجبن ونواتجها الجانبية أو الثانوية (غالباً الشرش) وعادة بطرق مختلفة . وبالتالي تعظيم عمل الجبن هو عمل صعب . حتى التحكم في مكونات المنتج النهائي ، النشاط المباشر لأغلب المنتجات اللبنية ، ليس من السهل إنجازها في عمل الجبن . بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تؤثر طريقة التصنيع بقوة على أثمان المنتج كذلك الأصناف المطلوبة ، والعمالة ، والمعدات ، وفقد المنتج ... الخ .

عموماً ، الفهم الكامل لتحولات فيزيائية وكيميائية مختلفة ، واعتمادها المتبادل على بعضها ، والطرق التي يمكن أن تتأثر بها تكون في حاجة ماسة إليها إذا أردنا أن نؤسس تصنيع الجبن على أسس علمية سليمة . ولأن تخصصات مختلفة واسعة عديدة تكون مستخدمة مثل هندسة العمليات ، الكيمياء الفيزيائية ، الكيمياء الحيوية ، الميكروبيولوجيا ، وعلوم أخرى مختلفة- مفهومنا لصناعة الجبن مازالت غير كاملة . وبرغم ذلك ، فسوف نحاول إمداد القارئ بحقائق بجانب هذا الفهم .

2.23 خطوات عمليات أساسية *Essential Process Steps*

يشـــمل تصـــنيع الجبن عدة عمليات مختلفة ، يكون بعض منها ضـــرورياً لكل أنواع الأجبان :

1. تجلط اللبن Clotting of the milk : وهذا يتم بواســـطة الإنزيمات أو بالأحماض أو بهما معاً . وكما سبق ذكره . تزيل الإنزيمات المشـتركة الكازين – أو الببتيدات الكبيرة "الشـعر" من الكابا–كازين وتجمع جسيمات الباراكازين الناتجة . يتكون الحامض عادة من اللاكتوز بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك ، يذيب فوســفات الكالســيوم شــبه القلوية للجســيمات ويعادل الشحنة الكهربية على الجزيئات الناتجة ، التي سوف تتجمع بعد ذلك . يسبب التجمع تكون شبكة ممتلئة بالفراغ ، الذي يحيط بمصل اللبن وكريات الدهن .
2. إزالة الشـرش Removal ot the Whey . يكون الهلام المتكون عرضـة للتدميع الفجائي أي طرد الشـرش منه . يسـرع طرد الشـرش عادة بواسـطة قطع الهلام إلى قطع ، وبتقليب مخلوط الخثرة–الشـرش التي تتكون . كلما كانت الخثرة أكثر جفافاً أصـبح الجبن أكثر صـلابة وأطول بقاءً .
3. إنتاج الحامض Acid Production : في الجبن أثناء تصـنيعه . وهذا يرجع إلى تحويل اللاكتوز إلى حامض لاكتيك بواســطة بكتيريا حامض اللاكتيك . يؤثر الأس الهيدروجيني الناتج للخثرة والجبن على مثل هذه المعايير مثل التدميع ، والتماسك ونضج الجبن .
4. التمليح Salting : يحتوي الجبن على كلوريد صـــوديوم ، عادة من 1% إلى 4% . وهذا لا ينطبق على بعض الأجبان الطازجة مثل كارج quarg . وتؤثر الأملاح على فترة بقاء الجبن ، والنكهة والتماسك ، إما مباشرة أو بتأثيرها على النضج .
5. التحـام حبيبـات الخثرة وتكوين رغيف متمـاســـك Fusion of curd grains into a coherent loaf : وهذا من السهل تداوله ، بالإضافة إلى أن الجبن يمكن أن يكتسب القدرة

على التمزق وعمل شقوق تحمي الداخل . يسرع الضغط التحام الخثرة يزيد القدرة على تكون الشق .

6. القابلية للمعاجلة Curing : وهذا يعني التأكيد على أن الظروف أثناء التخزين والتداول تضمن للنضج أن يتم بصورة مرغوبة . النضج هو العامل الأساسي المحدد للنكهة النموذجية والصفة المميزة لكل نوع جبن محدد . ولكي يتحقق ذلك ، يحفظ الجبن لمدة متغيرة تحت ظروف مناسبة . تختلف ظروف التخزين بشكل واسع لكل نوع جبن مستخدم .

العمليتان الأخيرتان هما أساسيتان لنضج الجبن ، وعندما لا يستخدمان في التصنيع فإن المنتج يسمى بالجبن الطازج Fresh cheese .

في هذه الأيام ، عادة ما تستخدم بعض خطوات تصنيع إضافية ، الغرض الأساسي هو تقليل الظروف التي تحدث أثناء عمليات التصنيع ولخواص الجبن . وهذه تتعلق بـ :

بسترة لبن الجبن Pasteurization of the cheese milk ، وهذه تحطم الكائنات الدقيقة والإنزيمات التي يمكن أن تكون أساسية للنضج . ويمكن أيضاً أن تستخدم في قتل أي مسببات مرضية لأن بعضاً منها يمكن أن يتحمل المعيشة لبعض الوقت ، خاصة في أجبان الأنواع الطرية . ولكي نتجنب حدوث التلوث بعد البسترة ، يجب أن تتخذ إجراءات صحية صارمة .

إضافة مزارع الكائنات الدقيقة Addition of cultures of micoroorganisms : تكون إضافة بادئات بكتيريا حامض اللاكتيك إلى لبن الجبن ضرورية إذا كان اللبن قد تم بسترته ولكن يمكن أيضاً عمل الجبن من اللبن الخام . يعتمد مكون البادئ على نوع الجبن المصنوع . وتضاف أيضاً لبعض الأنواع ، مزارع بعض أنواع الكائنات الدقيقة الأخرى .

تنظيم المكونات Regulation of composition : مثل المحتوى المائي ، والدهني ، والملحي ، والأس الهيدروجيني للجبن . المميزات واضحة ولكنها تحتاج إلى فهم مفصل لعمليات التصنيع المختلفة المتبعة أثناء صناعة الجبن .

الغرض الأساسي من تصنيع الجبن الحديث هو معاملة اللبن بسرعة ، وتحديد جدول زمني صارم لذلك ، وضبط مكونات الجبن لكي نتحكم في الإنتاجية والجودة . بالإضافة إلى ذلك ، غيرت الميكنة بصورة كبيرة عمليات صنع الجبن . ومع ذلك تبقى العمليات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية الأساسية التي تحدث هي نفسها .

3.23 التغيرات الحادثة ***Changes Occurring***

يوضح شكل 2.23 بطريقة تخطيطية عالية التغيرات التي تحدث أثناء عمل ونضج الجبن. المخطط تم تبسيطه للغاية ويستخدم بالكامل فقط لبعض أنواع من الجبن . فمثلاً لأنواع الجبن الشيدر ، تكوين الشكل والتمليح سوف يحدثان بترتيب عكسي والمقياس الزمني سوف يكون مختلفاً بعض الشيء ، وبرغم ذلك ، التغيرات الضرورية تم توضيحها . وأغلب بيانات الشكل تتكلم عن نفسها .

تضاف بكتيريا حامض اللاكتيك عادة في شكل بادئ ، تلعب دوراً رئيسياً في تكون النكهة والبنية Texture عملها الأساسي هو تحويل اللاكتوز إلى حامض لاكتيك . والذي يخفض الأس الهيدروجيني إلى 5.1 . نتيجة هامة هي ذوبان فوسفات الكالسيوم شبه الغروية ، كما تم مناقشته في تحت فصل 5.2.2 . يؤثر الأس الهيدروجيني المنخفض كثيراً على مكونات الجبن ، درجة التدميع ، التحام حبيبات الخثرة وتحولها إلى كتلة متماسكة . بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتكون مكونات نكهة خاصة وثاني أكسيد الكربون ، وفرق جهد الأكسدة–الاختزال (E_h) للجبن سوف يتم الوصول إليه . في معظم أنواع الجبن ، لا يتبقى سكر . بعض كائنات البادئ تنتج أيضاً مضادات حيوية .

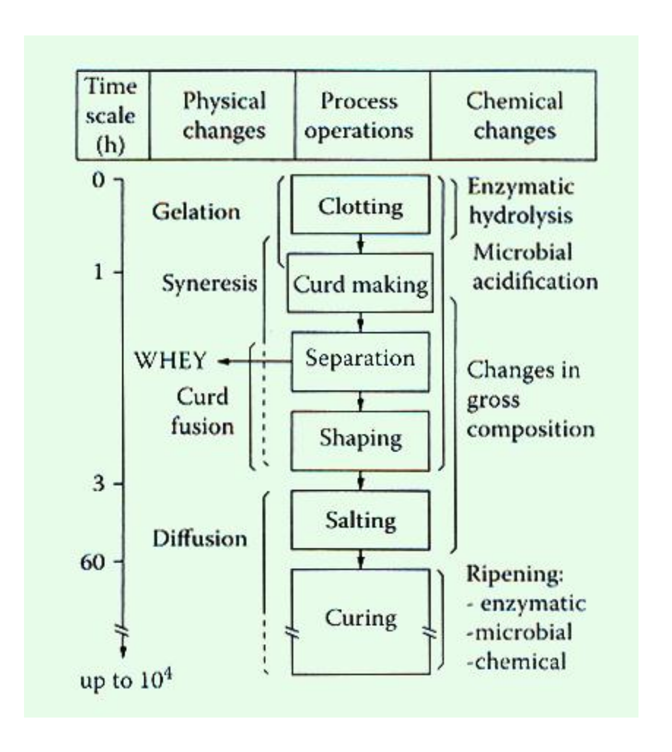
عدد من هذه العوامل تكون لها أهمية كبيرة في الحد من نمو الكائنات الدقيقة غير المرغوب فيها لعملية حفظ الجبن ، وهي كالتالي : (1) تركيز حامض اللاكتيك المرتفع الذي يتجمع مع الأس الهيدروجيني المنخفض ، (2) انخفاض E_h أي أن الظروف تكون لا هوائية صارمة ، (3)

غياب مصدر كربوني مناسب (سكر) لأغلب البكتيريا ، و(4) وجود مواد مثبطة أخرى . يمنع تلوث داخل الجبن بالميكروبات تكون قشرة متينة حول رغيف الجبن Cheese loaf ، والذي تكون بالتحام جزيئات الخثرة والذي يسرع بواسطة فقد الرطوبة المحيطة . بالإضافة إلى ذلك ، يكون أغلب الجبن شبه صلب ، وهذا يقتضي أن تكون البكتيريا مقيدة وأن هذه الجزيئات (الإنزيمات ، المتفاعلات ، ... إلخ) تنتشر ببطء . يمكن أن ينتشر الأكسجين داخل رغيف الجبن ، ويستهلك بسرعة بواسطة الجهاز الإنزيمي لبكتيريا البادئ . يسبب التمليح تغيراً هاماً آخر في المكون ، والذي يحد بالتالي من نمو الميكروبات . يؤثر الملح أيضاً على النكهة ، والبُنية ، وعمليات النضج .

ما يحدث أثناء النضج يمكن أن يكون الأكثر تعقيداً وبالتالي الجزء الأقل فهماً من عملية تصنيع الجبن ، بالرغم من أن تقدماً هائلاً قد حدث في السنوات الأخيرة . إنزيمات عديدة موجودة في اللبن (مثل البلازمين والليبيز) أو تضاف إلى اللبن (خاصة الكيموزين) ، أو من الكائنات الدقيقة (الموجودة في البادئ بكتيريا أو فلورا معينة) ، تسبب تفاعلات ذات مجال بيوكيميائي واسع . وعادة ما تكون مصحوبة بتحولات كيميائية صرفة . التغيرات الأساسية هي أن جزءاً هاماً من البروتين يتكسر ، ويعطي ببتيدات ذات أحجام مختلفة ، أحماض أمينية حرة ، ومنتجات أيضية أصغر . ينفصل جزء صغير من الأحماض الدهنية عن الجلسريدات الثلاثية . هذه جميعاً سيتم مناقشتها في فصل 25 . بالإضافة إلى ذلك ، انتشار الملح ، الماء ، والمنتجات الناتجة من التفاعلات الحادثة المذكورة ، خاصة من القشرة داخل قلب الجبن وبالعكس . في أنواع عديدة من الجبن ، تنمو الفلورا من الخمائر والبكتيريا وعادة الأعفان على قشرة الجبن مغيرة مكونات الجبن ، أي باستهلاك حامض اللاكتيك وإنتاج مركبات النكهة .

تعتمد خطوات العمليات التصنيعية المختلفة اعتماداً متبادلاً مع بعضها وأي تغيرات في ظروف التشغيل (درجة الحرارة ، كمية البادئ المضافة ، الوقت المسموح لخطوات العملية ، وهكذا) تؤثر على عدة تغيرات ، وليس على واحدة فقط . تؤثر التفاعلات نفسها على تفاعلات أخرى . أيضاً تؤثر المكونات والمعاملة السابقة للبن على نتائج خطوات العملية وعلى عملية النضج . تصنيع

الجبن والظروف أثناء التخزين والتداول تكون معقدة للغاية ، وتغيير عامل واحد دائماً له عدة عواقب . ومنها السماح بإنتاج أعداد كبيرة من أصناف الجبن .



شكل 2.23 رسم تخطيطي لأغلب التغيرات الأساسية الفيزيائية والبيوكيميائية التي تحدث أثناء تحول اللبن إلى جبن . مثال مبسط ، مقياس الوقت ليس خطياً

Figure 23.2 Schematic of the most essential physical and (bio) chemical changes occurring during the transformation of milk into cheese. Simplified example; the timescale is not linear

مراجع مقترحة ***Suggested Literature***

نظرة شاملة للجوانب الأساسية لتصنيع الجبن وخواصه

P.F. Fox, P.L.H. Mc Sweeney, T.M. Cogan, and T.P. Guinee, Eds., Cheese Chemitry, Physics and Microbiology Vol. 1: General Aspects, 3^{rd} ed., Elsevier Academic Press. London, 2004.

كتاب عام آخر هو :

P.F. Fox, T.P. Guinee, T.M. Cogan, and P.L.H Mc Sweeney, Fundamentals of cheese Science , Aspen, Gaithersburg, 2000.

24 تصنيع الجبن Cheese Manufacture

في هذا الفصل ، جميع خطوات العمليات التصنيعية للجبن تقريباً تمت مناقشتها ببعض التفاصيل . وهو لا يشتمل على عملية نضج الجبن .

1.24 خواص اللبن والمعاملات السابقة *Milk Properties and Pretreatment*

تعتمد المعاملات التي يجب أن تطبق على اللبن قبل عمل الخثرة على مكونات اللبن وعلى خواصه التي تتغير طبقاً لنوع الجبن المراد إنتاجه .

1.1.24 اللبن الخام *The Raw Milk*

1.1.1.24 المكون الكيميائي *Chemical Composition*

مكونات اللبن لها تأثير واضح على الناتج ومكونات الجبن . يمكن أن يختلف اللبن في المكونات ، خاصة إذا كان أصله من عدة بقرات قليلة ، كما هو الحال عند عمل الجبن في المزرعة ، أو بالنسبة للبن المأخوذ من الأبقار في فترات مختلفة من فصول السنة . ومع ذلك فالجبن ذو النوعية المرضية يمكن أن يصنع من أي لبن ، شريطة أن تضبط عملية التصنيع . في أغلب الحالات ، يتم تقييس اللبن لكي يعطي محتوى دهنياً مطلوباً في المادة الجافة للجبن . هذه بعض الجوانب الهامة لمكونات اللبن :

1. محتوى الكازين والدهن يحدد إنتاجية الجبن . محتوى خثرة البروتين عادة هو الذي يؤخذ في الاعتبار . نسبة الكازين إلى النيتروجين الكلي تكون مختلفة إلى حد ما وبروتينات المصل ومركبات NPN من الصعوبة أن تحتجز في الجبن .

2. نســـبة الدهن إلى الكازين عادة ما تحدد محتوى الدهن في المادة الجافة للجبن وتؤثر قليلاً على التدميع syneresis وبالتالي المحتوى المائي للجبن .
3. عادة ما يحدد محتوى اللاكتوز ، ودهن ، وكازين اللبن المر إنتاجية حامض اللاكتيك الذي يؤثر بوضوح على الأس الهيدروجيني والمحتوى المائي محدداً خواص الجبن .
4. يعتمد أيضـاً الأس الهيدروجيني للجبن على القدرة التنظيمية للمادة الجافة . المتغير الوحيد الهام هو نسـبة فوسـفات الكالسـيوم الغروية إلى الكازين . لا تختلف هذه النسـبة كثيراً ، وعادة ما تزداد مع مرحلة الإدرار (بالنســـبة لنوع الجبن إيمنتالير Emmentaler-type ، وعندما تكون منخفضة تصل بجودة الجبن إلى حالة مرضية) .
5. تنفيح اللبن وقدرته على التدميع يمكن أن تختلف بصـورة واسـعة ، نتيجة لتغير نشـاط أيونات الكالسيوم Ca^{+2} ، ولكن هناك مكونات أخرى يمكن أن يكون لها تأثير أيضاً .
6. لبن الأبقار التي تعاني من التهاب الضـرع لها محتوى لاكتوز منخفض ونسـبة نيتروجين الكازين إلى النيتروجين الكلي تكون منخفضـــة (انظر شـــكـل 34.2) ، عـادة يتجلط اللبن ببطء ، تبدي الخثرة تدميعاً ضعيفاً .
7. يمكن أن تخفض العوامـل المثبطـة للنمو البكتيري إنتـاج حـامض اللاكتيـك . أغلـب العوامل الطبيعية (خاصـــة جهاز اللاكتوبيروكســيديز) لا تغير بصـــورة واســعة في الحجم الكلي للبن . يمكن أن يكون وجود المضـــادات الحيوية محدداً لإنتاج الحامض وعملية نضـــج الجبن .
8. لا يجب أن يكون اللبن فاسـداً ، أي أن يكون مزنخاً rancid أو به عيوب نكهة غير مرغوبة ، ومع ذلك فإن اللبن الحامض قليلاً يمكن أن يصنع في الحال إلى جبن ، وعلى الأقل أنواع معينة من الجبن (الطري) المصنوع من لبن خام .

2.1.1.24 المكون الميكروبي ***Microbial Composition***

لتصـــنيع الجبن من اللبن الخام ، تختلف الاحتياجات المســـتخدمة بشـــكل واســـع . تكون بكتيريا القولون "كولي فورمز" وبكتيريا حـامض البروبيونيـك عـادة ضـــارة (البـاب 26) . يمكن أيضاً أن تسبب بعض بكتيريا حامض اللاكتيك عيوباً في النكهة ، أي نكهة تشبه الخميرة أو نكهة الكرنب ، بينما يمكن أن تســـبب بكتيريا ســـتريبتوكوككي البرازية نكهة كبريتيد الهيدروجين H_2S خاصـة العد المرتفع لبكتيريا لاكتوباسـيللي أو / والبيدي كوككي Pedicocci يكون ضـاراً لتكون النكهة في الجبن الصـلب أو شـبه الصـلب . بالرغم من أن أغلب لبن الجبن يكون مبسـتراً ، جراثيم البكتيريا كلوســتريديم تيروبيتيريكم *Clostridium tyrobutyricum* يمكن أن تكون كارثية لكثير من أنواع الجبن مثل جودا Gouda وإيمنتالير Emmentaler (انظر فصـــل 2.26) . الليبيز المقـاوم للحرارة ، الـذي تنتجه البكتيريـا المحبـة للحرارة ، يمكن أن يســـبب نكهـات غير مرغوبـة صـــابونية–مزنخة في أنواع جبن كثيرة ، يمكن أن تســـبب الإنزيمات المحللة للبروتين المقاومة للحرارة نقصاً في الإنتاجية .

2.1.24 معاملة اللبن ***Milk Treatment***

هذه بعض الجوانب الهامة للمعاملة السابقة :

1. التجنيس الحراري Thermalizing : أي التســـخين لمـدة 20 ثـانيـة عنـد درجـة حرارة 65 مئويـة. إذا حفظ اللبن بـارداً لبعض الوقـت . بغرض منع تكون كـميـات كبيرة من إنزيمـات الليبيز والبروتينيز المقـاومة للحرارة ، ويمكن أيضـــاً أن ينقص العد لبعض البكتيريا الضـــارة المذكورة سابقاً .
2. إزالة الجزيئات القذرة Removal of dirt particles : وهذا يحدث بواسطة الترشيح أو الطرد المركزي .

3. تقييس محتوى الدهن للبن Standardization of the fat content of the milk : وهذا سيتم مناقشته في تحت فصل 3.8.24 .

لبعض الجبن المصنوع من اللبن الخام منزوع الدسم جزئياً Partly skimmed raw milk مثل الجبن بارميزان Parmesan cheese ، يسمح اللبن البارد بتكوين القشدة ، ثم تزال طبقة القشدة . وكما ذكر في تحت فصل 2.4.2.3 ، يكون التقشيد سريعاً نتيجة للتخثير البارد . تحتوي القشدة الناتجة على أغلب الخلايا الجسمية وكثير من البكتيريا الموجودة أصلاً في اللبن . يمكن أن تحسن هذه العملية الجودة البكتيرية للبن الجبن . ومع ذلك فإن تقييس محتوى الدهن ليس دقيقاً . يبرد اللبن في بعض الحالات ، في مبادل حراري إلى حوالي 5 درجات مئوية لكي نحصل على فصل كاف بين القشدة واللبن الفرز والقشدة المتحصل عليها يتم بسترتها ، وجزء منها يضاف عندئذ للبن الفرز الخام لكي تحصل على المحتوى الدهني المطلوب . تسمح هذه الخطوات بالتقييس الصحيح وتحسن الجودة البكتيرية بصورة أفضل .

4. ضبط المحتوى البروتيني في اللبن Adjusting the Protein content of the milk : وهذا الضبط يقوم به بعض المصنعين ، وهذا يعني دائماً زيادة تركيز البروتين . ويمكن تحقيقه بواسطة إضافة محتجز ترشيح فائق للبن (فرز) ، ويضاف مسحوق لبن فرز منخفض الحرارة أو لبن سادة مركز عادة . الغرض الأساسي هو أن الاستخدام الأكفأ للماكينة يرفع محتوى البروتين ، لأن كمية أكبر من الجبن يمكن أن تصنع بنفس المعدّة في نفس الوقت (عامل التركيز يمكن أن يكون 1.4 أو 1.5 عندما نستخدم الماكينة العادية لعمل الخثرة) . بالإضافة إلى ذلك ، يسمح تقييس المحتوى البروتيني بتحكم أفضل لعملية التصنيع انظر تحت فصل 3.4.24 للترشيح الفائق للبن الجبن .

5. البسترة Pasterization : هذه العملية كافية لتثبيط إنزيم الفوسفاتيز القاعدي ، وتستخدم لقتل مسببات الأمراض والكائنات الضارة (انظر أيضاً شكل 1.24) تسبب البسترة الشديدة في أن جزءاً من بروتينات المصل يصبح غير ذائباً ، مما يؤدي إلى زيادة في إنتاجية الجبن ،

ويقلل عملية التنفيح وعملية التدميع (انظر شــكل 15.24) ، حيث تثبط إنزيم الزنثين أوكســيديز ، وبالتالي تزيد من خطورة التلوث البكتيري . إذا تم تشــغيل المبادل الحراري لمدة طويلة بدون توقف (للتجنيس الحراري وبسترة اللبن) ، فإن بكتيريا ستريبتوكوككس ثيرموفيليس *Streptococcus thermophilus* تنمو عادة بأعداد كبيرة ، مسببة عيوباً في النكهة (نكهة متعفنة ومتخمرة) .

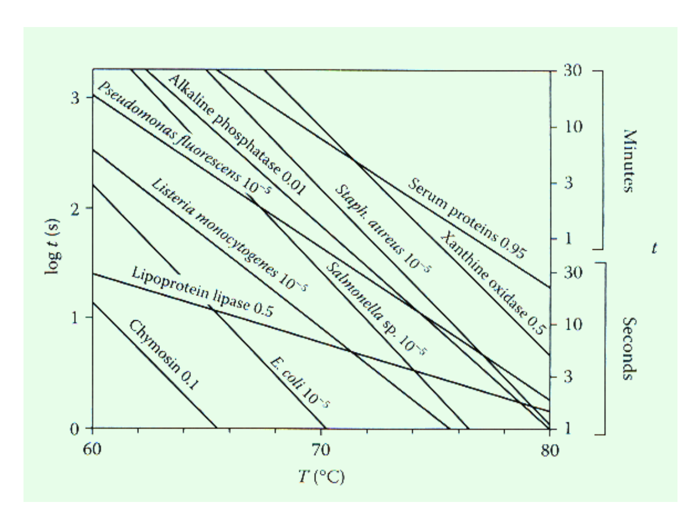
6. إزالة البكتيريا Bactofugation : وهذه تســتخدم أحياناً لخفض عدد الجراثيم لبكتيريا كلوستريديم تيروبيتيريكيم *Clostridium tyrobutyricum* (إلى حوالي 3%) . تسبب إزالة الرواسب الناتجة ، المحتوية على جراثيم انخفاضاً حوالي 6% في إنتاج الجبن .
7. منع إعادة التلوث Prevention of recontamination : انظر مثلاً ، باب 26 .
8. منع تكســر كريات الدهن Prevention of damage to fat globules : وهذا يجب أن يؤخذ في الاعتبار بالنسبة لعمل الليبيز المحتمل مع عملية مخض أي تكون كتل من الدهن يمكن رؤيتها ، يشــمل هذا التحاماً جزئياً (انظر تحت فصــل 2.2.2.3) . يمكن أن يحدث مثل هذا التكســير عندما يضـرب الهواء في اللبن ، خاصـة عندما يتناثر اللبن كقطرات من ارتفاع داخل قدر اللبن .
9. توصــيل اللبن لدرجة التنفيح Bringing the milk to renneting temperature : في حالات كثيرة ، يبستر اللبن قبل عمل الجبن مباشـرة ثم يبرد مباشرة لدرجة حرارة التنفيح ، أي لدرجة حرارة 30 مئوية . يحفظ اللبن المبســتر في بعض الحالات ، بارداً (أي عند 5 درجات مئوية) قبل عمل الجبن . ثم يجب تســخينه لدرجة حرارة 30 مئوية . ومع ذلك ، يمكن أن يكون جزء من التســخين غير كافٍ ويمكن أن يســبب مخضــاً كما سـبق أن ذكرنا . والأكثر أهمية ، أنه سوف يسبب تنفيحاً وتدميعاً ، يتمان ببطء أكثر من المعتاد . وعلاج ذلك هو أن نسخن اللبن لدرجة حرارة 50 مئوية ثم نبرده إلى درجة حرارة 30 مئوية .
10. تجنيس اللبن Homogenization of the milk : وهذا يسبب في بعض الأجبان بُنية لاصقة غير مرغوبة وتحللاً دهنياً زائداً . والأخير يمكن أن يكون مرغوباً فيه بالنســبة للجبن الأزرق المعرق Blue-veined cheese .

11. إضافة مواد Addition of substances وتشمل :

أ- كلوريد الكالسيوم : وهذا يسرع التجلط أو يقلل من كمية المنفحة المطلوبة ، ويؤدي إلى هلام أكثر صلابة ، ويقلل خصوصاً التغيرات الطبيعية في التنفيح .

ب- نيترات بوتاسيوم (أو صوديوم) : إذا رغب في ذلك ، لنقلل من تخمر بكتيريا حامض البيتريك ولبكتيريا القولون (باب 26) .

ج- مواد ملونة (في بعض الأوقات) : إما الأناتو Annatto أو جزر Carotene . إضافة البادئ سوف يتم مناقشته في فصل 2.24 لبعض الأجبان . قد يضاف بعض الأحماض (مثل حامض الهيدروكلوريك HCl أو السيتريك) قبل التجلط . العوامل المسببة للتجلط المضافة سيتم مناقشتها في تحت فصل 1.3.24 .



شكل 1.24 الوقت اللازم (t) كدالة على الحرارة (T) لتثبيط بعض الإنزيمات ، ولقتل بعض البكتيريا ، ولدنترة بروتينات المصل في اللبن أو الشرش (عند أس هيدروجيني 6.7) الأشكال توضح الأجزاء المتبقية التقريبية التي لم تتغير بعد المعاملة

Figure 24.1 Time (t) needed as a function of temperature (T) to inactivate some enzymes, to kill some bacteria, and to denature serum proteins in milk or whey (at pH 6.7). The figures indicate the approximate fraction left unchanged after the treatment

2.24 البادئات *Starters*

يبدو أنه لا غنى عن بكتيريا حامض اللاكتيك في صناعة الجبن . وهي في أغلب وليس كل الحالات تضاف إلى اللبن كبادئ . وهي تسبب عدة تفاعلات تحدث في اللبن وفي الخثرة ، والتي تكون هامة بالتحديد لتكوين وخواص الجبن . إن جوانب عامة لهذه التفاعلات تم مناقشتها في فصل 1.13 و2.13 . يعتمد اختيار نوع وحجم البادئ على نوع الجبن المراد صنعه . إن تغيرات عديدة تكون ممكنة .

- يمكن أن يتغير معدل تكون الحامض في اللبن ويعتمد على نشاط البادئ . تتأثر فترة عملية تكون الخثرة بالتحميض (تكون المنفحة أكثر نشاطاً عند أس هيدروجيني منخفض ، انظر شكل 2.24) وأيضاً مكونات الجبن مثل المحتوى المائي ومحتوى فوسفات الكالسيوم والأس الهيدروجيني له ، تتأثر بعملية التحميض . يحمض اللبن في بعض الأحيان مسبقاً بواسطة إضافة البادئ قبل إضافة المنفحة ، والتي تؤثر أيضاً على مكونات الجبن .
- تحدد درجة حرارة تحضين البادئ قبل الإضافة إلى لبن الجبن التعادل بين السلالات المختلفة في مزرعة البادئ . يؤثر التغير في هذا التعادل على مكونات الجبن .
- يتميز البادئ بجهازه المحلل للبروتين ، والذي يكون ذا أهمية قصوى لنضج الجبن . ويحدد كيف يتحلل البروتين مائياً وكيف تتحول الببتيدات المتكونة إلى أحماض أمينية ومركبات مكونة للنكهة . التحلل البروتيني له نتائج هامة على بنية وقوام الجبن .
- إنتاج ثاني أكسيد الكربون بواسطة بكتيريا البادئ تكون ضرورية لقوام بعض الأجبان التي فيها تكون الفتحات مرغوبة مثل جبن جودا Gouda ، تيليستير Tilsiter ، كاميمبيرت Camembert وروكفورت Roquefort . وهذا يحتاج اختيار بادئ -DL خاص (انظر فصل 5.13) . مثل هذا البادئ الخاص نحتاجه أيضاً في الأجبان الطازجة Fresh cheeses حيث يكون تكون الداي أسيتيل من حامض السيتريك مرغوباً . في أنواع أجبان أخرى

عديدة ، خاصة الشيدر Cheddar ، تكوُّن الفتحات غير مرغوباً فيها ولذلك يجب أن ينتج البادئ المستخدم ثاني أكسيد الكربون أقل .

- يمكن أن تحد حساسية لاقم البادئ من استخدامه في بعض الحالات وعلى ذلك ، فمعرفة خواصه تكون دليلاً مطلوباً لاختيار البادئ الصحيح . الفعل المتبادل بين اللاقم–البكتيريا تم مناقشته بالتفصيل في فصل 3.13 تفاصيل مكونات البادئات المحتوية على بكتيريا حامض اللاكتيك وتصنيعها تم تناولها في فصل 5.13 .

تستخدم مزارع ثانوية لتصنيع بعض أنواع من الجبن Secondary cultures . يبدأ نمو وتكون هذه المزارع الثانوية للجبن بواسطة تخمر اللاكتوز إلى لاكتات بواسطة بادئ ابتدائي من بكتيريا حامض اللاكتيك . يمكن أن تحتوي المزارع المختلفة للجبن على خمائر ، أعفان أو بكتيريا . والتي تنمو أثناء المراحل المتأخرة للنضج على سطح الأجبان الناضجة أو داخلياً في منبت الجبن Cheese matrix في النوع السويسري من الجبن أو في الأجبان الزرقاء المعرقة . هذه الأصناف من الجبن سوف تناقش بالتفصيل في باب 27 .

تداول البادئ Starter Handling : بالرغم من أن هناك أجبان مازالت تصنع بدون استخدام بادئات ، فإن الغالبية العظمى من الألبان تعتمد في صناعتها على مزارع البادئ . تبدي طريقة استخدام وتداول البادئات اختلافات عديدة من الحرفي التقليدي البدائي إلى التكنولوجي المعتمد على العلم الحديث . الطريقة التقليدية تستخدم بعض اللبن لدفعة منتج ناجح أو بعض الشرش الناتج منه بعد تحضين زائد ، كبادئ لدفعة تالية . يؤدي هذا الطريق إلى إثراء مختار للكائنات الحية التي تعيش وتتكاثر تحت ظروف عمل الجبن ولها الخواص المرغوب فيها . مثل هذه المزارع التقليدية الناجحة هي المخازن التقليدية لإنتاج بادئات غير معرفة تستخدم في تصنيع الجبن الصناعي . هذه المزارع تنمى في اللبن عند مصانع إنتاج الجبن قبل إضافتها إلى قدور الجبن .

وبالتبادل ، تحفظ وتنمى هذه المزارع تحت ظروف معملية متحكم فيها وتمد بها مصـــانع الجبن بشكل مركز ومجمد ، لكي تستخدم كلقاح للجزء الأكبر من البادئ . يستخدم موردواً المزارع عادة الأوساط المعتمدة على الشرش ، والمدعمة بمستخلص الخميرة أو مصدر فيتامينات ، بدلاً من اللبن لتنمية مزارعها . وهذا يجعل المزارع ذات تركيز عالٍ من الخلايا البكتيرية في وقت قصـــير ، وبذلك ينخفض سعرها . تتكون البادئات معرفة السلالة من سلالات نقية ، خالية من التلوث ، وتنمى تحت ظروف معملية متحكم فيها والتي تقدم في صورة مجمدة .

البادئات المعرفة أو غير المعرفة الســـلالة تكون هذه الأيام مجهزة في صـــورة عالية التركيز ومجمدة ومجففة أيضاً . تستخدم في هذه الصورة كلقاح مباشر لقدر الجبن Cheese vat (DVI) وبذلك نتجنب الزراعة في مكان الجزء الأكبر من البادئ . يكون اســـتعمال DVI محدوداً نتيجة للسعر المرتفع للبادئ المجمد الجاف . في هذا الخصوص ، أي مصنع ينتج أكثر من 10 آلاف طن من الجبن كل عام سـوف يعتبر استخدام DVI كبند التكاليف الأهم . ومن جانب آخر سـوف تعتبر مصـانع الألبان الصـغيرة DVI أكثر ملاءمة وأكثر اقتصـاداً من اسـتخدام مقادير كبيرة من البادئ . تكون المزارع الثانوية والمزارع المسـاعدة Adjunct starters مناسـبة لإمداد قدر الجبن في الصورة DVI .

3.24 الإنزيمات المسببة للتجلط *Enzyme-Induced Clotting*

في هذا الفصل سوف نهتم خصوصاً بالتجبن بالمنفحة Rennet coagulation أي تجلط اللبن بواسطة إنزيمات مفصولة من المعدة الرابعة للعجول . الإنزيم الأكثر أهمية في منفحة العجل هو الكيموزين Chymosin .

تسبب إنزيمات التنفيح انفصـال الكابا–كازين بطريقة ما لدرجة اختفاء الشعر البارز من جسـيمات الكازين (انظر شـكل 17.3) أو بدقة أكثر ، تصـبح قصـيرة جداً . ببتيدات الكازين الكبيرة المنطلقة تذوب ، بينما يبقى البارا–كابا–كازين في الجســيمات . الكازين المتغير يســـمى

الباراكازين Paracasein ، وهو لا يذوب أو يختفي ، في مصـــل اللبن . ويســـبب ذلك تتجمع جسـيمات الباراكازين في اللبن ، على شـريطة أن نشـاط أيونات الكالسـيوم يكون عالياً بشـكل كافٍ .

1.3.24 الإنزيمات المستخدمة *Enzymes used*

1.1.3.24 الكيموزين *Chymosin*

الإنزيم الرئيســـي المســـتخدم في صـــناعة الجبن هو الكيموزين (انظر 4.23.4.3 ، الوزن الجزيئي يســاوي 35600 ، الأس الهيدروجيني متســاوي الجهد الكهربي يســاوي 4.65) . والإنزيم عبارة عن اسبارتات–بروتينيز Aspartate-proteinase ولذلك فإن إنزيم الأندوبيبتيديز الذي يعني أنه يمكن فصـل البروتينات إلى شـظايا كبيرة نسـبياً . يتبع الكيموزين لإنزيم المعدة المعتاد الببسـين Pepsin (انظر 1.23.4.3) وهو لا يشـبه الببسـين ، في أنه لا يسـتطيع أن يحلل مائياً الجلوبيلينات المناعية للبأ (وذلك يشـرح لماذا ينتج العجل حديث الولادة الكيموزين وليس الببســين) . في معدة العجل يفرز البروكازين غير النشط ، والذي يتحول إلى شكل نشط بواسطة التحلل البورتيني الذاتي الموجه .

عند أس هيدروجيني قدره 6.7 تنفصل الرابطة بين الفينيل آلانين والمثيونين Phe-Met بين البقايا 105 و106 للكابا–كازين . ويكون هذا التفاعل سريعاً . وعلى افتراض أن الشـحنة الموجبة لهذه المنطقة من السـلسـلة الببتيدية (انظر شـكل 25.2) وسـهولة الوصـول إلى هذه المنطقة يعتمد على القابلية القوية ناحية المكان النشـــط ســـالب الشـــحنة للإنزيم . عند قيم منخفضـــة للأس الهيدروجيني ، الكيموزين يمكن أن يفصل أيضاً روابط أخرى في الكازينات المختلفة .

تتحلل الببتيدات الصـــناعية التي تحتوي على بعض بقايا بعض الأحماض الأمينية حول الرابطة Phe-Met للكابا – كازين مائياً بسـرعة بواسـطة الكيموزين . يمكن أن يطبق التحلل المائي الأخير في تجارب لتقدير قوة تحضيرات المنفحة .

يصـــبح بعض الكيموزين مدمصـــاً على البارا- كازين ، حيث يكون جزء منه الجبن ، تزداد الكمية بانخفاض الأس الهيدروجيني . عند أس هيدروجيني قدره 6.7 يكون الادمصاص ضعيفاً جداً .

يتم تثبيط الكيموزين تحت ظروف معينة (انظر شـــكل 2.24) . عند أس هيدروجيني منخفض وهذا يجب أن يكون راجعاً إلى التحلل البروتيني الذاتي (الإنزيم يحلل نفســـه) ، عند أس هيدروجيني عالٍ تتم عملية الدنترة (بالحرارة) . في اللبن الطازج ، يحدث تثبيط معنوي عند درجة حرارة أقل من 45 درجة مئوية . يقلل الملح من عملية التثبيط حيث أن المنفحة التجارية تحتوي على محتوى عالٍ من الأملاح .

2.1.3.24 إنزيمات أخرى *Other Enzymes*

تنتج المنفحة التقليدية بواســـطة اســـتخلاص من المعدة الرابعة لعجل رضـــيع . يعالج المســـتخلص بطريقة ما حيث أن البروكيموزين يتحول إلى كيموزين . المســـتخلص يتم تنقيته أيضاً ، ولكن دائماً ما يحتوي على بيبسين أيضاً . نشاط الببسين يمكن مقارنته بالكيموزين ، وإذا كان المحتوى من الببســـين للمنفحة أقل من 25% من محتوى الكيموزين ، فإن التنفيح ، عمل الخثرة ، ونضج الجبن لا يختلف معنوياً عند مقارنته بالكيموزين النقي .

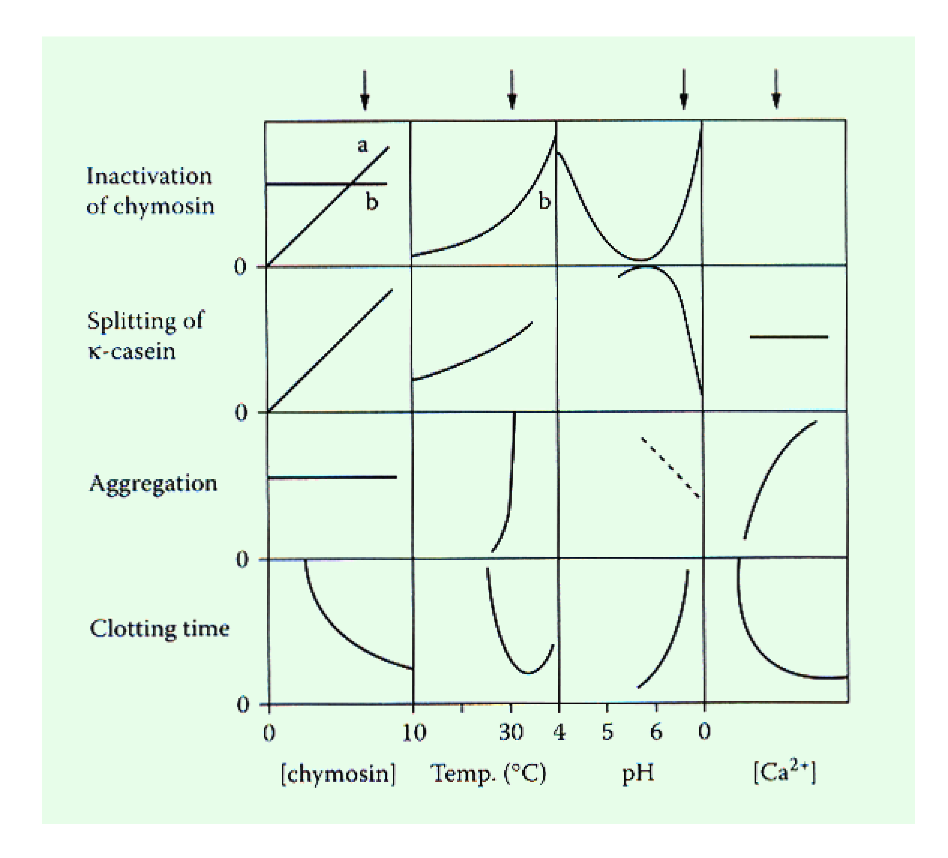
يحضـــر الكيموزين النقي الآن بواســـطة التكنولوجيا الجينية : يتم إدخال جين البقرة في DNA كائن دقيق (بكتيريا ، خميرة ، أو عفن) وعند ذلك تنتج الإنزيم وتخرجه في البيئة . في بعض البلدان ، هذا الكيموزين المعاد تركيبه يكون هو العامل الأســـاســـي المحدث للتجلط المســـتخدم في تصـــنيع الجبن ، وفي بلاد أخرى ، مازالت تســـتعمل منفحة العجل التقليدية .

يمكن أن تستخدم إنزيمات أخرى عديدة مثل بيبسين الخنزير وهو يعمل بطريقة مشابهة للكيموزين البقري ، ولكن الأس الهيدروجيني للبن يجب أن يخفض قليلاً ، لكي ننجز تجنباً

سـريعاً . وتوجد منفحة تتكون من عدة خضـروات ، إما من نباتات مختلفة أو من أعفان . تحتوي الأخيرة على إنزيمـات بروتينيـة حـامضـــيـة ، أي من ريزوميكور ميهي *Rhizomucor miehei* أو كريفونيكتريا بارازيتيك *Cryphonectria* Parasitic . تســـتخدم هذه كبديل لمنفحة العجل (الغالية الثمن) ، ولكن يلاحظ أنها تحل محل الكيموزين المعاد تركيبه . العوامل المسببة للتجلط ذات الأصـل النباتي تسـتخدم عادة لأصـناف الجبن المحلي . كل هذه المنافح البديلة قادرة على فصـل الرابطة Phe-Met للكابا–كازين عند الأس الهيدروجيني الفسـيولوجي ، ولكن صـفاتها الأخرى يمكن أن تختلف فيما بينها . وهذا يمكن اســتخدام العوامل المؤثرة على ثباتها ، يعتمد النشـاط التجلطي Clotting activity على درجة الحرارة ، الأس الهيـدروجيني ، القوة الأيونيـة ، علاقـة الإنزيم مع البارا–كازين ، والنشـاط المحلل للبروتين أثناء نضـج الجبن . وبمعنى آخر ، بعض من العلاقات في شكل 2.24 لم تتحقق .

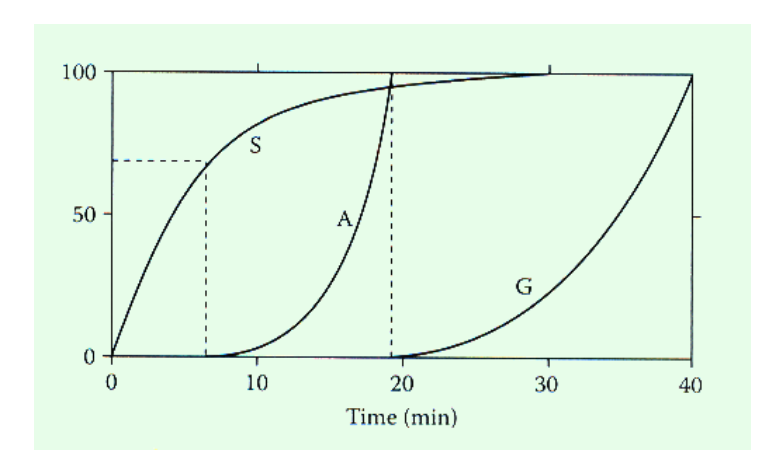
2.3.24 التفاعلات المحفزة إنزيمياً

معدل التفـاعـل الإنزيمي لا يمكن وصـفـه على أسـاس معـادلـة مينتون – ميكيليس Michaelis-Menten equation ، التفـاعـل من الـدرجـة الأولى ، بـالنسـبـة للتركيز والوقـت ، على الأقل عند أس هيدروجيني فسـيولوجي . وهذا يمكن وصـفه للاختلاف الكبير في الحجم – وعلى ذلـك ، في معـامـل الانتشـار – بين جزيئـات الإنزيم وجسـيمـات الكـازين . الأخيرة لا تتحرك ويجب على جزيئات الإنزيم أن تقترب منها بواسـطة الانتشـار . أثناء التنفيح يكون هناك حوالي جزيء إنزيمي واحد لكل 30 جسيم كازين . بالإضـافة إلى ذلك ، جزء من مسـار الانتشـار يكون في الطبقة الشـعرية للجسـيم ، وكلما كانت الرابطة Phe-Met المنفصـلة قريبة من سـطح الجسيم ، كلما زاد وقت الانتشـار . تكون سـرعة التفاعل محدودة الانتشـار . الشعر يزال عشـوائياً عند الأس الهيدروجيني الفسـيولوجي على الأقل . مسـار التفاعل تم توضـيحه في شـكل 3.24 ، المنحنى S .



شكل 2.24 تأثير تركيز الكيموزين ، درجة الحرارة ، الأس الهيدروجيني ، تركيز أيون الكالسيوم على معدلات تثبيط الكيموزين ، انفصال الكابا–كازين (في اللبن) ، تجمع جسيمات البارا–كازين (وهذا يقتضي أن يكون الكابا–كازين قد انفصل كلياً) ، وقت تجلط اللبن. وقد قصد توضيح الاتجاه (a) عند أس هيدروجيني 3.5 ، (b) عند أس هيدروجيني 7 ، فراغ أبيض يعني ليس هناك تأثير أو تأثير قليل ، خط متقطع يعني تقدير تقريبي ، الأسهم تعني الظروف المستخدمة عادة في تصنيع الجبن من اللبن الطازج

Figure 24.2 Effect of chymosin concentration, temperature, pH, and Ca^{2+} concentration on the rates of chymosin inactivation, splitting of κ-casein (in milk), aggregation of para-casein micelles (this implies that κ-casein has been completely split), and the clotting time of milk. Meant to illustrate trends. (a) at pH 3.5; (b) at pH 7; a blank space implies no or little effect, a broken line a rough estimate; arrows indicate the conditions as often used in making cheese from fresh milk



شكل 3.24 تنفيح اللبن . نسبة انفصال الكابا–كازين (S) ، درجة تجمع جسيمات البارا–كازين (A مستقاة من زيادة اللزوجة) ، ومعامل القص للهلام المتكون (G) ، كدالة عن الوقت بعد إضافة المنفحة . A و G ، مقياس رسم تقديري . المقصود فقط توضيح الاتجاه . عند الأس الهيدروجيني الفسيولوجي وحوالي 30 درجة مئوية

Figure 24.3 Renneting of milk. Percentage of κ-casein spit (S), degree of aggregation of paracasein micelles (A, e.g., deduced from the viscosity increase), and shear modulus of the formed gel (G), as a function of the time after adding rennet. A and G, arbitrary scale. Only meant to illustrate trends. At physiological pH and about 30°C

بعض العوامل المؤثرة على سـرعة التفاعل تم توضـيحها في شـكل 2.24 . يكون تأثير درجة الحرارة قليلاً ، وينتمي إلى اعتماد معامل الانتشـــار (من خلال اللزوجة) على درجة الحرارة . تخفض بروتينات المصـل نشـاط الكيموزين . ونشـاط أيونات الكالسـيوم له تأثير قليل . وتتطلب قوة أيونية معينة ، وأن يكون اللبن ملائماً . الأس الهيدروجيني له تأثير هام . عند أس هيدروجيني منخفض ، قابلية الإنزيم للجسـيمات تزداد ويؤدي ذلك إلى زيادة سـرعة التفاعل . عند أس هيدروجيني مازال منخفضـاً تكون السـرعة الأصـغر ، لأن الإنزيم يحدث له ادمصـاص بقوة على جسـيمات الكازين والذي يأخذ وقتاً كبيراً قبل أن تطلق الجزيئات المدمصـــة ثانية ويمكن لها أن تنتشـــر أكثر . وهذا يقتضـي أن يكون التفاعل محدود الانتشـار لفترة ليسـت طويلة . وكتأثير إضـافي لزيادة الادمصـاص

عند أس هيدروجيني منخفض أن الشعيرات لا تزال عشوائياً ، ولكن يميل الإنزيم لتكوين "بقع عارية "Bare patches" على الجسيم ، قبل إعادة الامتصاص والانتشار بعيداً .

3.3.24 التجمع *Aggregation*

جوانب أساسية تم مناقشتها في تحت فصل 3.1.3 وتحت فصل 3.3.3 ، انظر خصوصاً شكل 22.3 . تتجمع الجسيمات فقط عندما يتم إزالة جزء أكبر من الشعر ، لدرجة أن التنافر المجسم للجزيئات يقل بصورة كافية . أيضاً التنافر الاستاتيكي الكهربي يقل ، كما تم توضيحه في شكل 7.3 والذي يعطي فرق جهد زيتا Zeta لجسيمات الكازين والباراكازين . وكما هو موضح في شكل 3.24 ، يبدأ التجمع عندما ينفصل حوالي 70% من الكاباكازين . وبافتراض أن الجسيمات يجب أن تقترب من بعضها البعض بتوجيه معين حيث أن كل جسيم يقدم بشكل عار ، أي خالٍ من الشعر ، لطعة بجانب أخرى ، كلما أزيل الشعر ، كلما زاد عدد وحجم اللطع العارية على الجسيم ، يتم التجمع بصورة أسرع . وهذا تم توضيحه في شكل 4.24 والذي يكون فيه معدل التجمع النسبي المقدر (والذي هو قياس لمعكوس عامل الثبات W ، انظر تحت فصل 1.3.1.3) دالة على درجة الانفصال .

التجمع ، أي التصاق جسيمات الباراكازين مع بعضها ، نتيجة لتجاذب فاندر فالز Van der waals attraction ، ولكن هذا التجاذب يكون في حد ذاته غير كاف . نشاط أيون الكالسيوم المطلوب يشير إلى ذلك . من المحتمل أن يكون تأثير أيونات الكالسيوم مضاعفاً . أولاً ، بتقليل التنافر الاستاتيكي الكهربي ، بمعادلة الشحنات السلبة على الجسيمات . في مدى أس هيدروجيني معين . أيونات الكالسيوم Ca^{+2} تعمل بكفاءة أكبر من أيونات الهيدروجين H^{+} . ثانياً ، يمكن أن تكون أيونات الكالسيوم قناطر (روابط ملحية) بين المواقع السالبة على جزيئات الباراكازين . ويجب أن نلاحظ أن خفض الأس الهيدروجيني للبن يزيد بشكل ملحوظ نشاط أيونات الكالسيوم فيه (انظر شكل 9.2) .

يوضح شكل 2.24 بعض العوامل المؤثرة على معدل تجمع جسيمات الباراكازين (انفصال الكاباكازين بالكامل) . بجانب أن نشاط أيونات الكالسيوم ، درجة الحرارة ، يكون لهما تأثير كبير . عند درجة 20 مئوية ، التجمع لا يحدث على الإطلاق . عند درجة حرارة 60 مئوية يكون المعدل أكثر سرعة من المعدل المحسوب ، كما هو موضح في المعادلة 8.3 لـ $W=1$ (على الأقل إذا كان نشاط أيون الكالسيوم مرتفعاً) . الثبات المذكور عند درجة حرارة منخفضة يمكن تفسيره بالتنافر الحادث بواسطة الشعر البارز للبيتاكازين ، سوف يعتمد مثل هذا البروز على درجة الحرارة (انظر تحت فصل 3.3.3.3) .

الأس الهيدروجيني له تأثير مضاعف على معدل التجمع . أولاً ، لأن انخفاض الأس الهيدروجيني يزيد نشاط أيون الكالسيوم ، كما سبق ذكره . ثانياً ، حتى عند نشاط ثابت لأيونات الكالسيوم يكون التجمع أسرع . وهذا لأنه عند أس هيدروجيني منخفض لا يزيل الإنزيم الشعر جزافاً ، ولكن يميل إلى فصل هذا الشعر . وبالتالي تتكون البقع العارية على سطح الجسيم عند درجة منخفضة من انفصال الكابا–كازين (انظر الفصل السابق) . ولقد لوحظ مثلاً أن التجمع يبدأ عند درجة انفصال قدرها 70% ، 60% و40% عند قيم أس هيدروجيني قدرها 6.6 ، 6.2 و5.6 على التوالي (عند 30 درجة مئوية) .

4.3.24 تكوين الهلام ***Gel Formation***

تكون الهلام نتيجة تجمع جزئي لجسيمات البارا–كازين تم مناقشته في تحت فصل 4.3.3 . الهلام المتكون هو جزيء هلامي ، بعض خواصه تم توضيحها . الحالات الحادثة أثناء التنفيح تم توضيحه في شكل 5.24 .

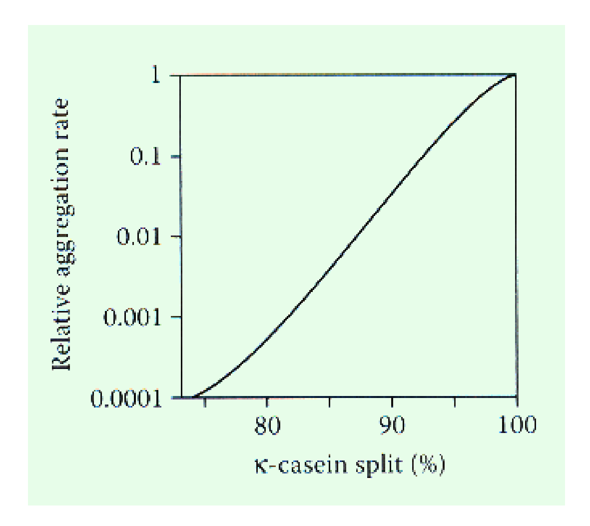
يلاحظ في شكل 3.24 أن معامل التمدد يمكن تحديده ، وعلى ذلك يتكون الهلام عندما تقترب اللزوجة من اللانهاية ، عند هذا الوقت ، التجمع يكون قد تقدم لحد بعيد لدرجة أن المتجمعات تشغل الحجم كله . تزداد معاملات زيادة الهلام في البداية ،

لأن جسيمات أكثر (أو تجمعات صغيرة) يتم احتوائها في شبكة الهلام ، وفي وقت متأخر لأن الاتصال بين أي جسيمين يصبح أقوى نتيجة لالتحام جسيمات البارا-كازين (تحت فصل 4.3.3) . يتكون الهلام من أشرطة من جزيئات الكازين ، تتكون عادة من 3 إلى 4 جزئيات في السمك ومن 10 إلى 20 جزيء في الطول تتبادل مع عقد سميكة من الجزيئات . وحيث أن الجزيئات تكون من 0.1 إلى 0.3 ميكرومتر في القطر فقط ، فإن هذا يعني ترتيباً قصير الأجل للجزيئات يتم حدوثه . ويكون عرض الثقوب الأكبر في الهلام بعض ميكرومترات (حتى 10 ميكرومترات) .

وكما تم مناقشته في تحت فصل 4.2.3.3 ، تعتمد خواص جسيمات الكازين كثيراً على الأس الهيدروجيني . خواص الهلام تعكس هذا التأثير ، وهذا قد تم توضيحه في شكل 6.24 عند أس هيدروجيني قدره 5.250 ، تصل قيمة الفوسفات الغروية في الجسيمات إلى الصفر وتكون الروابط في الجسيمات الأضعف ، ومعامل صلابة الهلام يكون أكثر انخفاضاً . ويكون الهلام ذا لزوجة مرنة Viscoelastic . وعند الأس الهيدروجيني 5.25 والتماس المفقود يكون Loss tangent عند الدرجة القصوى ، وقيمتها 0.6 فأن الهلام يكون له خصائص لزجة ، أي أنه سوف ينساب عندما يبذل ضغطاً عليه ، وهذه خاصية هامة أثناء تشكل الخثرة والالتحام .

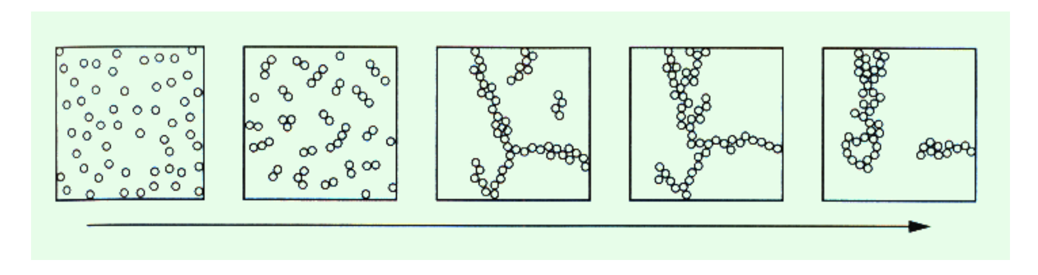
عند درجة حرارة منخفضة يكون الاتصال بين جزيئات الهلام أقوى . ومن المحتمل أن يحدث ذلك لأن الجزيئات تكون أكثر انتفاخاً وعلى ذلك تكون متصلة مع بعضها عبر مساحة أكبر ، وهذا يعني روابط أكثر لكل اتصال .

بجانب إعادة ترتيب قصير الأجل ، يحدث أيضاً إعادة ترتيب طويل الأجل ، ويؤدي هذا إلى عملية تدميع syneresis وهذا تم مناقشته في تحت فصل 4.4.24 .



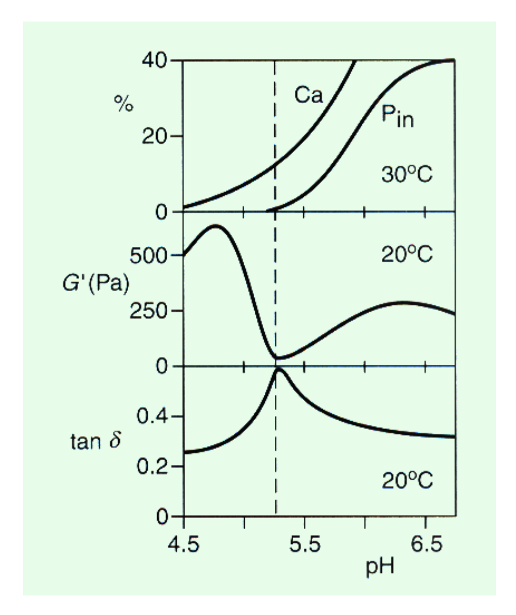
شكل 4.24 معامل التجمع التقريبي للجسيمات أثناء التجلط عند درجة حرارة 30 مئوية كدالة عن نسبة الكابا–كازين التي انفصلت . نسبياً تقتضي المقارنة بجسيمات البارا–كازين الحقيقية عند ظروف معينة (الأس الهيدروجيني ، نشاط أيونات الكالسيوم ، ... إلخ)

Figure 24.4 Approximate aggregation rate of micelles during clotting at 30°C as a function of the percentage of the κ-casein that has been split. 'Relative' implies as compared to true paracasein micelles at the given conditions (pH, temperature, Ca^{2+} activity, etc.)



شكل 5.24 إعادة عرض تجمع جسيمات البارا–كازين ، تكون الهلام ، وبداية التدميع الدقيق . شكل تخطيطي للغاية

Figure 24.5 Representation of the aggregation of paracasein micelles, the formation of a gel, and the start of (micro) syneresis. Highly schematic



شكل 6.24 بعض الخصائص الريولوجية لهلامات المنفحة كدالة على الأس الهيدروجيني G' هو الجزء المرن لمعقد معامل القص و $\tan\delta$ هو التَّماس المفقود (G''/G') عند تردد قدره $HZ\,0.01$ (G'' هي الجزء اللزج للمعامل) . للمقارنة ، نسب الكالسيوم والفوسفات غير العضوية (P_{in}) في جسيمات الكازين تم توضيحها أيضاً

Figure 24.6 Some rheological properties of rennet gels as a function of pH. *G*' is the elastic part of the complex shear modulus and tan δ is the loss tangent (*G*"/*G*') at a frequency of 0.01 Hz (*G*" is the viscous part of the modulus). For comparison, the proportions of calcium and of inorganic and of inorganic phosphate (P_{in}) in the casein micelles are also given

5.3.24 وقت التنفيح *The Renneting Time*

عندما تضـــاف المنفحة إلى اللبن ، فإنها تأخذ وقتاً قبل أن تبدأ الجســيمات في التجمع (شـكل 3.24) ولكن منذ ذلك الوقت يزداد معدل التجمع بسـرعة (شـكل 4.24) . عند لحظة معينة ، يمكن ملاحظة تجمعات قليلة بالعين المجردة . يمكن أن يعرف الوقت اللازم لذلك كوقت

التنفيح . وهو دليل هام في صنع الجبن . تكون اعتمادها على بعض متغيرات العملية مقارنة بوقت التجلط الموضح في شكل 2.24 .

يتناسب وقت التنفيح عكسياً مع تركيز الإنزيم . تعرف هذه العلاقة بقاعدة ستورش وسيجيلك Rule of Storch and Segelcke ، لا تناسب بالضبط ولا يمكن شرحها بطريقة بسيطة . الفعل المشترك المعقد للفعل الإنزيمي والتجمع (والذي يزداد في المعدل مع الوقت) يمكن فقط شرحه بواسطة معادلات معقدة والتي بالصدفة ، تنتج في علاقة خط مستقيم . بواسطة واحد من التفاعلات ، الأكبر والأبطأ والتي تحدد وقت التنفيح ، وتعتمد على الظروف التي يكون فيها التفاعل هو الأبطأ .

تؤثر درجة الحرارة على معدل التجمع ، وبالتالي عندما يزود اللبن المبرد في درجة 10 مئوية بالمنفحة ، يتم انفصال الكابا–كازين ، ولكن تفشل الجسيمات في التجمع . عندما يسخن اللبن بالتالي يتجلط بسرعة جداً . تكون زيادة وقت التنفيح عند درجات حرارة فوق 35 درجة مئوية (شكل 2.24) نتيجة التثبيط الحراري للكيموزين .

يبدي اللبن تغيرات معتبرة في وقت التنفيح ، خاصة لبن الأبقار الفردية . يكون سببها التغيرات في محتوى الكازين ، إذا كان المحتوى عالياً ، يكون التجلط سريعاً . المقياس الرئيسي هو نشاط أيونات الكالسيوم . إذا كان المحتوى منخفضاً يكون التجمع بطيئاً . يمكن أن يسرع التفاعل بواسطة إضافة كلوريد الكالسيوم . زيادة كمية كلوريد الكالسيوم إلى أكثر من حد معين لا يؤدي إلى تغيير كثير لأن التفاعل الإنزيمي سوف يحدد الآن سرعة التفاعل .

يكون تأثير الأس الهيدروجيني معقداً . فهو يؤثر على التفاعل الإنزيمي ، ولكن يؤثر قليلاً على معدل تجمع جسيمات الباراكازين ، شريطة أن النشاط الإنزيمي لا يكون منخفضاً للغاية . وكما ذكر في تحت فصل 2.3.24 ، لا تزال الشعيرات عشوائياً عند أس هيدروجيني منخفض ، وهو الذي يسبب تجمع الجسيمات لكي يبدأ عند مرحلة مبكرة من التفاعل الإنزيمي . يشرح هذا

التأثير اعتماد وقت التجلط على الأس الهيدروجيني . وهو أيضـاً يسبب ظهور منحنيات مثل الموجودة في شكل 3.24 والتي تكون مختلفة عند أس هيدروجيني منخفض .

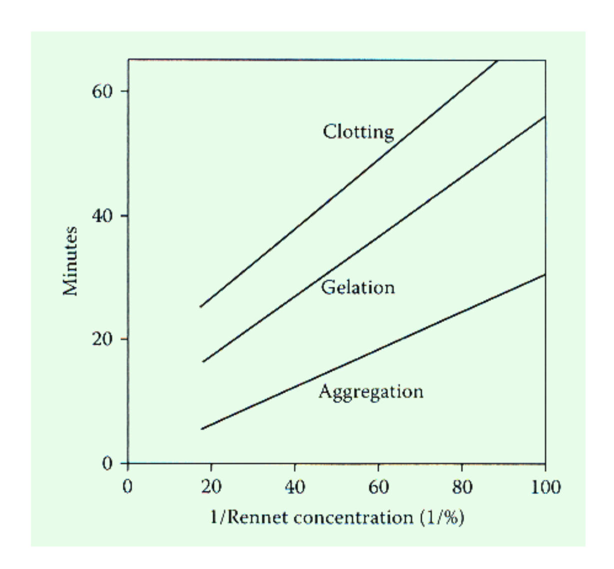
العوامل التي تسبب زيادة في وقت التنفيح ، عادة ما تنقص أيضـاً معدل تماسك الهلام أي معدل زيادة معامل الهلام . بالإضافة إلى ذلك ، لا تكون التغيرات متناسبة مع كل منها ، وتعتمد أيضاً على ما يعتبر الوقت المميز . وهذا تم توضيحه في شكل 7.24 ، وقت التجمع كما عرف في الشكل يكون قريباً من وقت التنفيح طبقاً لقاعدة لستورش وسيجيلك Storch and segelcke rule . يهتم صناع الجبن اهتماماً كبيراً بوقت التجلط clotting time ، أي الوقت عندما تكون الخثرة متماسكة بدرجة كافية لبدء تقطيع الهلام (انظر تحت فصل 4.4.24) .

نقطة هامة هي ، تحديد قوة تنفيح عامل مسبب للتجلط . ويعبر عنها بوحدات السوكسليت Soxlet units أي عدد الجرامات للبن طازج عادي التي يمكن أن تنفح بواسطة جرام من المنفحة في 40 دقيقة عند 35 درجة مئوية . وقت التنفيح يعرف بأنه الوقت اللازم لظهور تجمعات صغيرة في أنبوبة بها لبن . توضع الأنبوبة في وضع مائل في حمام مائي يدور ، يمكن تحديد مكان المتجمعات في غشاء رقيق من اللبن على جزء من جدار الأنبوبة الزجاجية . هناك مشكلة هي أن اللبن الطازج يختلف في درجة التنفيح . وبالتالي ، استخدم ببتيد صناعي كمقياس لتحديد وقت تنفيح اللبن المستخدم في التجربة عند قيمة معينة . أغلب تحضيرات المنفحة يتم تقييسها عند قوة 10 آلاف وحدة سوكسليت Soxhlet units .

6.3.24 تجلط اللبن المعامل حرارياً *Clotting of Heat-Treated Milk*

يسبب تسخين اللبن ، أكثر شدة من البسترة المنخفضة ، زيادة وقت التجلط ، وإحداث خثرة ضعيفة ، وتدميعاً ضعيفاً . يزداد وقت التنفيح بزيادة شدة التسخين . يتأثر معدل التفاعل الإنزيمي قليلاً (غالباً بنسبة 20%) ، ولكن التجمع يصبح أكثر بطءً . إضافة قليل من كلوريد

الكالسيوم أو خفض الأس الهيدروجيني يحد من وقت التجلط إذا لم يكن التسخين شديداً . تأثير التسخين لا يمكن شرحه بنقص نشاط أيون الكالسيوم ، وهذا لأن التسخين لا يغير وقت التجلط إذا لم يوجد بيتا-لاكتوجلوبيلين . التنفيح الأقل وتفاعل هذا البروتين مع جسيمات الكازين (انظر شكل E 9.7) يجري موازياً . ومن الواضح أن ثبات جسيمات البارا-كازين يزداد بواسطة طبقة بروتينات المصل المتعلقة بها . يمكن أن يقل التأثير الضار للمعاملة الحرارية بواسطة خفض الأس الهيدروجيني إلى أقل من 6 ، وبالتالي يزداد هذا التأثير مرة أخرى عند أس هيدروجيني 6.4 . انظر أيضاً شكل 8.24 .



شكل 7.24 الوقت اللازم للتجمع المرئي ، لبدأ تكون الهلام ، ولكي نحصل على تماسك كافٍ للهلام (وقت التجلط) ، كدالة على تركيز المنفحة . أمثلة تقريبية (عند 30 درجة مئوية) للبن المبستر ، لا يضاف كلوريد الكالسيوم

Figure 24.7 Time needed for visible aggregation, to start gelation, and to obtain sufficient firmness of the gel (clotting time), as a function of the rennet concentration. Approximate examples (30°C) for low-pasteurized milk; $CaCl_2$ is not added. (Data from A.C.M. van Hooydonk and G. van den Berg, *Bulletin of the IDF* 225, 2, 1988)

4.24 عمل الخثرة *Curd Making*

تقليدياً ، عمل الخثرة يعني عمل دفعة Batch process تشـــمل تجلط اللبن ، تقطيع الهلام إلى قطع ، طرد الشرش نتيجة للتدميع syneresis وبعصر قطع الخثرة المتكونة ، وفصل الخثرة عن الشـــرش ، وفي هذه الأثناء ، يتحول اللاكتوز إلى حامض لاكتيك . تحدد هذه العملية ماذا ســـيكون مكون الجبن ، البـارا-كـازين وأغلـب الـدهن المتجمع شـــاملاً كمية صـــغيرة من الشرش . يتم تحديد المحتوى المائي المحتمل وحموضة الجبن عند هذه المرحلة أيضاً .

غرض أساسي وهام هو أن تكون العملية أقصر ما يمكن ومؤثرة واقتصادية ، ويجب كذلك أن يتم التحكم فيها جيداً وتسبب فقداً قليلاً للخثرة والدهن . ولتحقيق الكفاءة يفضـل أن تكون عملية مستمرة . سوف تذكر بعض العمليات ، ولكن لأغلب الأجبان الصلبة وشبه الصلبة ، يبدو أن عمل الدفعة يكون اقتصـادياً ، لأن ظروف العملية تتغير . حيث أن حجم الدفعة تم زيادته كثيراً خلال العقود الماضية .

لتركيز البروتين والدهن ، هناك مساران متبعان ، المسـار الكلاسيكي والذي فيه يتم تجلط اللبن أولاً ، أو تركيز اللبن قبل أن يتم تجلطه ، الطريقة الأخيرة سوف يتم مناقشتها أيضاً .

ملاحظة على التســـمية العلمية ، ســـوف نســـمي اللبن المتجلط "هلام gel" ونحتفظ بالكلمة "خثرة curd" لقطع الهلام التي فقدت على الأقل جزءاً من الشـــرش المحيط . غالباً ما تستخدم الكلمة "رطوبة moisture" كمرادف للماء ، في المحتوى الرطوبي . وسوف لا نفعل ذلك ونحتفظ بالكلمة رطوبة للمحاليل المائية منخفضـة اللزوجة ، فمثلاً ، الرطوبة التي يمكن أن تضـغط من رغيف جبن حديث التكون .

1.4.24 التجلط *Clotting*

يمكن أن يحدث التجلط باســـتخدام المنفحة أو تحضـــير إنزيمي آخر ، مع الحـامض ، بالتسخين أو بواسطة ضم هذه العمليات .

1.1.4.24 التجلط بالمنفحة *Rennet Clotting*

تمت مناقشـــة عملية التجلط بصـــورة مفصـــلة . ولكي يتم تطبيق ذلك عملياً ، يجب أن يكون اللبن في درجـة حرارة مفضـــلـة (غـالبـاً 30 درجـة مئويـة) وأن يزود ببـادئ أو أي إضـــافات أخرى (مثل كلوريد الكالســـيوم) وطبعاً بالمنفحة . يقلب اللبن لكي نحصـــل على توزيع متجانس لكل المواد المضـــافة . يترك اللبن ســـاكناً ، لكي نســـمح لشـــبكة البارا – كازين أن تتكون دون إزعاج .

وكما تم مناقشـته ، يمكن أن يتغير وقت التجلط بشـكل واسـع ، يمكن أن تضـبط بعض المتغيرات مثل تركيز المنفحة ، الأس الهيدروجيني ، ودرجة الحرارة. ومع ذلك يمكن أن تختلف دفعات اللبن في عملية التنفيح نتيجة للتغيرات في نشـاط أيونات الكالسيوم ، في المحتوى من الكازين ، وفي التخزين البـارد أو المعـاملـة الحراريـة . بعض الأمثلـة تم ســـردهـا في شـــكـل 8.24 . عملياً ، يتكون اللبن عادة من خليط من عدة ألبان من إنتاج عدد كبير من الأبقار ، وهذا يقلل كثيراً من الاختلاف إضـافة كلوريد الكالسيوم (حوالي واحد ميلي مولار) يقلل الاختلاف في وقت التجلط . يمكن أن يثبت التاريخ الحراري للبن. عادة تقيس بعض مصـــانع الألبان محتوى الكازين للبن الجبن بإضافة محتجز ترشيح فائق للبن .

ومن جانب آخر ، يجب أن يكون التجلط سـريعاً ، لتوفير الوقت ، وهذا سـوف يصـبح أسرع عندما تضاف منفحة أكثر ، ولكن ذلك يكون مكلفاً . يقلل إضافة كلوريد الكالسيوم وقت التجلط ، ولكن يجب ألا يكون زائداً (كلما ارتفع محتوى الكالســـيوم للجبن ، فإن ذلك يمكن أن ينتج عنه بنية غير مرغوبة) . يجب أن يقطع الهلام بعد التجلط . يوضـــح شـــكل 3.24 أن معامل الهلام يزداد لمدة طويلة . إذا كان الهلام ضـــعيفاً عند لحظة القطع ، فإن الســـكين يمكن أن يحطم الخثرة ، مؤدية إلى كمية كبيرة من الخثرة الرقيقة "curd fines" والتي تفقد جزئياً مع الشـــرش . إذا كان الهلام أكثر صـلابة ، فإن هذا يعني أننا نحتاج إلى طاقة أكبر لقطع الخثرة ، حيث أن السـكين

يجب أن يتحرك أسـرع ، والذي سـوف يؤدي أيضـاً إلى تكون خثرة رقيقة أكثر . إن وقت القطع يجب أن يتم اختياره بدقة .

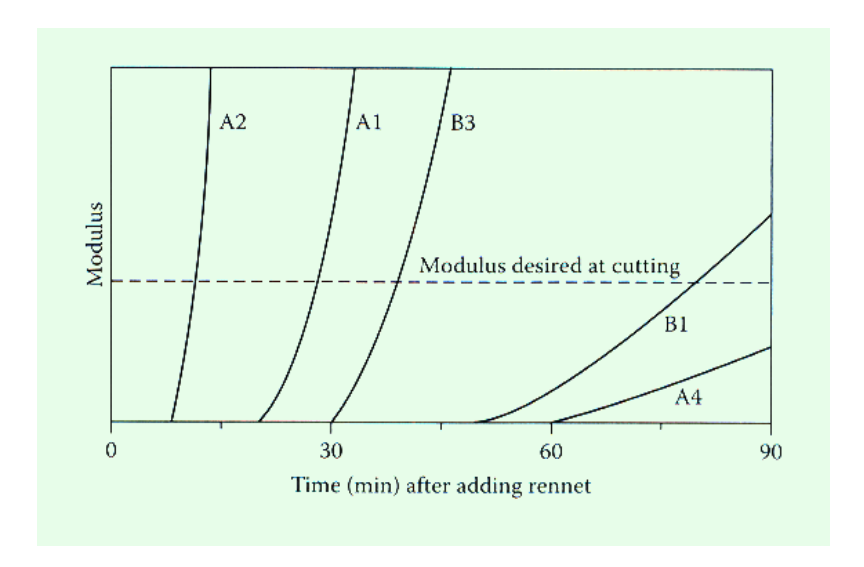
في تصـنيع بعض أصـناف من الجبن مثل الشـيدار والأنواع ذات العلاقة . تترك الخثرة للتحميض إلى أس هيدروجيني منخفض قبل أن تجرى عليها العمليات التصـنيعية التالية . هذا يعني في العملية التقليدية ، أن حبيبات الخثرة تترسـب وتكون طبقة ملتحمة . هذه الجوانب سـيتم مناقشـتها في تحت فصـل 1.4.27 . في الطريقة التقليدية لعمل بعض أصـناف الجبن الطرية (مثل الكاميمبيرت Camembert) ، لا يقطع اللبن المتجلط إلى قطع صـغيرة ، ولكن بعض الكتل من الهلام توضـع في وعاء جبن مثقب على فترات لكي نسـمح بصـرف بطيء للشـرش والتحام الخثرة الناتجة (انظر تحت فصل 1.6.27) .

جزء من المنفحة (أي 5%) يتم اسـترجاعه في الجبن (انظر تحت فصـل 2.4.24) وهذا يؤثر كثيراً على النضـج أي تحلل البروتين (انظر فصـل 3.25) . في صـناعة بعض أصـناف جبن (إيمنتيالر Emmentaler ، وأغلب الأجبان الإيطالية) يكون التسـخين أثناء معاملة الخثرة (الطبخ) كافياً لتثبيط نسـبة كبيرة من المنفحة (انظر أيضاً شـكل 1.24 و2.24) . يكون التثبيط أقوى كثيراً عند أس هيدروجيني عالٍ (6.4) من أس هيدروجيني منخفض (5.3) .

2.1.4.24 تجبن الحامض *Acid Coagulation*

يمكن أن يتجبن اللبن بخفض الأس الهيـدروجيني ، وهـذا يتـأثر ببكتيريـا حـامض اللاكتيك . ومن المحتمل أن تلعب الإنزيمات البكتيرية المحللة للبروتين دوراً أيضـاً ، لأن بعضـاً من هذه الإنزيمات يمكنه فصـل الكابا-كازين . ومع ذلك فالعملية الأسـاسـية هي أن الكازين يصـبح غير ذائب بالقرب من الأس الهيدروجيني متساوي الجهد الكهربي .

إذا لم تكن درجة حرارة إنتاج الحامض منخفضـة للغاية (30 درجة مئوية) ويكون اللبن سـاكناً ، فإن الهلام يتكون أثناء التجبن بالمنفحة ، ومع ذلك فإن الهلام يكون مختلفاً (انظر جدول 3.8) . فمثلاً ، يتكون في فترة قصـيرة ويمكن أن يكون أكثر صـلابة من الهلام الحادث بالمنفحة . وتركيبه يختلف أيضاً .



شكل 8.24 صلابة (معبر عنها كمعامل القص المرن) اللبن المنفح كدالة عن الوقت . نوعان من اللبن A لبن مخلوط . B لبن منفح بطئ جداً من بقرة واحدة . التنفيح عند 30 درجة مئوية ، 0.03% منفحة . حالات أكثر 1= لبن غير متغير ، 2 = أس هيدروجيني منخفض (6.4) ، 3 = كلوريد كالسيوم مضاف (واحد ميليمولار) ، 4 = لبن مسخن لمدة 15 ثانية عند درجة حرارة 95 مئوية . أمثلة تقريبية

Figure 24.8 Firmness (expressed as the elastic shear modulus) of renneted milk as a function of time. Two milks: A is a rather averagemixed milk, B a very slowly renneting milk of one cow. Renneting at 30°C, 0.03% rennet. Further conditions: 1 = unchanged milk, 2 = lowered pH (6.4), 3 = $CaCl_2$ added (1 mmolar), 4 = heated (15 s at 95°C). Approximate examples

ينتج التجبن بالمنفحة تجبن جسيمات الباراكازين شاملة فوسفات الكالسيوم الغروية ، حيث يتكون هلام اللبن الحامضي من جزيئات كازين متشابهة الحجم كما في التجبن بالمنفحة ، ولكن بدون فوسفات الكالسيوم . يمكن أن يقطع الهلام الحامضي ويقلب مثل هلام المنفحة ولكنه يظهر تدميعاً قليلاً ، خاصة في مستوى أس هيدروجيني من 4.2 إلى 5 . لإزالة كمية كافية من الشرش يجب أن تكون درجة الحرارة مرتفعة ، ولكن الجبن قليل الرطوبة لا يمكن تصنيعه عن طريق التجبن الحامضي .

وبالتالي ، يمكن أن يحمض اللبن عند درجة حرارة منخفضة أثناء التقليب حتى يتكون راسب ذا حجم كبير ، وليس هلاماً . تفصل عملية الطرد المركزي للبن الحامض إلى شرش وخبث خثرة قابل للضخ . محتوى المادة الصلبة لهذه الخثرة لا يمكن رفعها عن حوالي 23% أو حوالي 17% إذا استخدم اللبن الفرز . وعلى ذلك تستخدم الطريقة الأخيرة في تصنيع الكارج quarg ، يمكن أن تستخدم عملية مستمرة بالكامل .

يحتاج التجبن الحامض بواسطة النمو البكتيري وقتاً طويلاً ، حتى عند درجة الحرارة المثلى . وبالطبع ، يمكن أن يضاف الحامض أيضاً مباشرة ، مثل حامض اللاكتيك أو حامض الهيدروكلوريك . وهذا يسبب بداية تجلط اللبن أثناء إضافة الحامض ، والذي تكون نتيجته جزيئات خثرة مختلفة الشكل والحجم . بالإضافة إلى إمكانية إضافة حامض ولاكتون ، والذي يتم تحلله المائي البطيء (حوالي ساعة) ليكون حامضاً ، وبهذه الطريقة يمكن الحصول على هلام متجانس . وبالمقابل ، يمكن إضافة حامض إلى اللبن البارد ، أي عند حوالي 5 درجات مئوية ، لا يمكن أن يحدث تجبن المنفحة وتجبن الحامض عند درجة حرارة منخفضة . بعد التحميض ، يسخن اللبن تسخيناً متجانساً للتأكد من تكون الهلام المستقر . يمكن أن تستخدم هذه العملية في صناعة جبن الكوتاج Cottage cheese (انظر تحت فصل 2.2.27) .

غالباً ما يستخدم الحامض والتجبن بالمنفحة معاً ، خاصة في تصنيع الأجبان الطازجة والأجبان الطرية الناضجة ، في الحقيقة ، يسرع تجبن المنفحة بواسطة تجبن الحامض عندما يضاف نسبة عالية من البادئ ، بالإضافة إلى ذلك ، تصنيع بعض الأجبان شاملة اللبن سابق الزراعة قبل إضافة المنفحة . كلما انخفض الأس الهيدروجيني ، كلما كان التجلط سريعاً (كمية المنفحة تكون متساوية) (انظر شكل 2.24) . وهذا لا يكون راجعاً للأس الهيدروجيني في حد ذاته بل لزيادة نشاط أيونات الكالسيوم والتدميع يكون أيضاً أسرع .

3.1.24 التجبن بالتسخين والتحميض *Coagulation by Heating and Acidification*

إن تسخين اللبن في حد ذاته لا يسبب التجلط أو التجبن ، ولكي يتم التأكد . فإن نسبة معتبرة من بروتينات المصل تصبح غير ذائبة ، اعتماداً على كل من الوقت ودرجة حرارة التسخين (تحت فصل 34.2 وتحت فصل 2.2.7) . تتعلق هذه البروتينات بجسيمات الكازين وبالتالي يتم استعادتها في الجبن بعد التجبن مع المنفحة أو الحامض والتدميع syneresis . وهذا قد يسبب مشاكل . يتجلط اللبن بطريقة غير مرضية مع المنفحة (يأخذ وقتاً طويلاً قبل تكون الهلام والذي لا يكون أكثر صلابة) أو حتى قد يفشل في التجلط (انظر تحت فصل 6.3.24) . يظل المحتوى المائي للخثرة مرتفعاً ، حتى بعد معاملة طويلة للخثرة . عادة ، تتكون مواد مرة أثناء النضج . عادة تزداد إنتاجية الجبن بالمعاملة الحرارية للبن ولكن يكون غير مرغوب فيه .

يمكن أن يستخدم التسخين لاستعادة اللاكتالبومين lactalbumin من الشرش (فصل 2.1.21) . يضاف البروتين إلى لبن الجبن ، وهذا يستخدم أحياناً في تصنيع الجبن الطري ، وبالمقابل تم الحصول على تجبن عالي للبروتين من الشرش المحمض بواسطة الدنترة الحرارية ، ويمكن أن تصنع كما هي (شاملة العفن ، والملح) لكي نصل إلى منتج عالي البروتين ، في بعض الأوقات يسمى بالجبن .

كيسوبلانكو Queso Blanco هو جبن من أمريكا اللاتينية . يصنع بتسخين اللبن بين 80 و85 درجة مئوية ، ثم يضاف الحامض أثناء التقليب الخفيف للبن ، والذي يؤدي إلى تكون الجبن . يمكن أن تضاف أحماض مختلفة مثل الأسيتيك ، السيتريك ، الفوسفوريك ، أو ببساطة عصير الليمون . ويسمح للمتجبن أن يستقر ، ثم تجمع الخثرة وتضغط لإزالة الشرش ، ويضاف الملح . والجبن الناتج إما أن يستهلك طازجاً أو بعد وقت نضج قصير . يسمى هذا الجبن في الولايات المتحدة الأمريكية هيسبانيك Hispanic أو الجبن المكسيكي . تصنع في عدة بلدان استوائية أنواع مشابهة من الجبن .

يمكن أن يتجلط مخلوط من الحامض الشـرش واللبن الفرز المضـاف إليه بعض حامض اللاكتيك لكي يخفض الأس الهيدروجيني ، بالمعاملة الحرارية . تحتوي الخثرة على نسـبة كبيرة من بروتينات المصـل المدنترة ، وهذا يسـتخدم مثلاً ، في صـناعة الريكوتا Ricotta والشـابزيجير Schabziger .

2.4.24 تراكم مكونات مختلفة *Accumulation of Various Components*

تتكون نتيجـة للتجلط شـبكـة مسـتمرة من جزيئـات بروتين ، عـادة جزيئـات الباراكازين . يكون عرض ثقوب الشـبكة ميكرومترات قليلة . في البداية ، تحيط الشـبكة بكل اللبن ، ولكن تبدأ في الانقباض أي ظهور التدميع . وقد تم توضـيح ذلك في شـكل 5.24 وعلى ذلك فإن الرطوبة (أي الماء زائد المواد الذائبة) تعصر للخارج . بالنسبة للمادة الذائبة يبدو أنه عند لحظة الصرف ، تكون مكونات الرطوبة في الخثرة مشابهة للموجودة في الشرش . سوف تكون نسبة الماء إلى المواد الذائبة في الخثرة أعلى ، كمية معينة من الماء غير المذيب يمكن التعرف عليها . كما تم مناقشـته في تحت فصـل 1.1.10 ، والتي تكون أكبر من جزيئات المذاب كبيرة الحجم . لبروتينات المصـل في اللبن ، تكون كمية الماء غير المذيب حوالي من 2 إلى 3 جرام لكل جرام بارا –كازين . يحتوي أغلب الجبن تقريباً على هذه الكمية من الماء أو أقل . وقد لوحظ أن الجبن الصلب أو شبه الصلب يكون خالياً من بروتينات المصل وأيضاً من الببتيدات الكبيرة للكازين المنفصلة عن الكابا –كازين بواسطة المنفحة . وهذا يؤدي إلى أن الإنزيمات التي توجد ذائبة في مصل اللبن سوف لا تصل إلى الجبن . يمكن أن تحتوي أصناف الجبن ذات المحتوى العالي من الماء بعض بروتينات المصل وإنزيماته .

ومن جـانـب آخر ، تميـل بعض البروتينـات خـاصـة الإنزيمـات إلى الادمصـاص على جسـيمـات البـاراكـازين ، وهـذه سـوف تتراكم في الجبن ، وهـذا يخص الإنزيمات المحللة للبروتين الـداخليـة مثـل البلازمين Plasmin وكـاثيبسـين Cathepsin D ويحـدث أيضـاً مع

الكيموزين والببسين ، وتكون هذه ذات أهمية قصوى لنضج الجبن (فصل 3.25) . يكون ادمصاص الكيموزين صفراً عند أس هيدروجيني قدره 6.7 ولكن يزداد بالتدريج بانخفاض الأس الهيدروجيني . تعتمد كمية الكيموزين (والببسين) المحتجزة في الخثرة والتي تصل إلى الجبن ، على الظروف السائدة أثناء عمل الخثرة ، خاصة الأس الهيدروجيني عند حالة الصرف Drainage state . وتتراوح الكمية المحتجزة في الجبن بين 1% إلى 20 من الكمية المضافة للبن . وهذه تكون المتغير الأكثر أهمية والمحدد لمعدل التحلل البروتيني في الجبن . يمكن أن يحدث ادمصاص للإنزيمات التي تضاف إلى لبن الجبن على جسيمات الباراكازين . مثال ذلك الليسوزومات Lysozyme ، التي يحدث لها ادمصاص قوي ، والتي تضاف أحياناً لتثبط نمو بكتيريا حامض البيتيريك (انظر فصل 2.26) .

يحدث احتواء للإنزيمات الموجودة في غشاء كريات الدهن داخل الجبن ، وهذا ينطبق على إنزيمات الزانثين أوكسيديز Xanthine Oxidase وبعض الأمينو ترانسفيريز Aminotransferases والفوسفاتيز Phosphatases . وهذا سببه أن كل الجزيئات في اللبن أي كريات الدهن ، الكائنات الدقيقة ، الخلايا الجسمية وجزيئات القاذورات ، تكون الجزء الأكبر ويتم حصرها ميكانيكياً في شبكة جزيئات الباراكازين المتجمعة . يكون عدد بكتيريا البادئ لكل جرام من المادة أكبر 10 مرات في الجبن من لبن الجبن ، دون الأخذ في الاعتبار أي نمو .

الأكثر أهمية لمكونات الجبن هو تراكم البروتين والدهن أيضاً . معالجة الخثرة ، أي التقطيع والتقليب ، يسبب فقداً للجزيئات خاصة عند أسطح القطع . فمثلاً ، حوالي 6% من الدهن تفقد مع الشرش . أغلب هذا الدهن يمكن استعادته بواسطة الطرد المركزي للشرش . جزء من الشرش ، يسمى الخثرة الدقيقة يتم فقده ، تعتمد خسارة الدهن والخثرة الدقيقة كثيراً على صلابة اللبن المنفح عند لحظة التقطيع ، وعلى شدة القطع والتقليب . إذا كانت الخثرة ضعيفة للغاية ، يكون الفقد

كبيراً . وإذا كانت الخثرة صلبة للغاية ، فإن القطع يحتاج لقوة زائدة والذي يمكن أيضاً أن يسرع الفاقد .

إذا لم يتم اصطياد الجزيئات في الشبكة والالتصاق بها ، أو حتى تكون جزءاً منها ، فإن فقدها أثناء معاملة الخثرة ميكانيكياً يكون قليلاً . تصبح كريات الدهن جزءاً من شبكة الكازين ، إذا احتوت الطبقة السطحية على الكازين . ويمكن أن يحدث هذا نتيجة أخطاء أثناء عملية تصنيع اللبن (الضرب في الهواء ، التبخير ، أو التذرية) وخاصة بواسطة التجنيس (انظر فصل 5.9) . بالإضافة إلى فقد أقل للدهن داخل الشرش ، عادة ما توصف المكونات المختلفة للجبن الناتجة كجبن لاصق "Sticky" .

3.4.24 التركيز قبل التجلط *Concentrating before Clotting*

هي طريقة بديلة لعمل الخثرة تشمل تركيز البروتين قبل التجلط بواسطة الترشيح الفائق . وعندما يستخدم الترشيح المزدوج (انظر فصل 2.12) ، من الممكن أن نحصل على سائل له مكونات الجبن غير المملح ، على شريطة أن يكون جبن له محتوى مائي عالٍ . يكون الترشيح المزدوج Diafiltration مطلوباً لإزالة جزء من اللاكتوز وفوسفات الكالسيوم . يمكن أن يصنع الجبن الطري غير المملح في عملية مستمرة . يضاف إلى السائل المركز بادئ ومنفحة ويضخ ببطء خلال أنبوبة طويلة والتي تخرج منها اسطوانة الخثرة والتي يمكن أن تقطع مباشرة إلى شرائح لها شكل جبن طري صغير . يسمح والاحتفاظ بهذه الشرائح لفترة عند درجة حرارة 20 مئوية بتحويل اللاكتوز إلى حامض لاكتيك بدون خروج شرش غير مفرط . يمكن أن يملح الجبن ويختر . شكل مختلف لهذه العملية يشمل تنفيح بارد ، والذي تقصر عملية التجلط . المركز يتم تنفيحه بالمنفحة عند درجة منخفضة ولنقل 5 درجات مئوية ، مع التقليب . الإنزيم يسمح له بفصل كل الكابا- كازين ، والتي تأخذ ضعف الوقت المطلوب عند درجة 30 مئوية . يضخ السائل ببطء خلال مبادل حراري أنبوبي والذي يقوم بتسخينه السائل إلى حوالي 30 درجة مئوية ، وهذا يؤدي إلى

تجلط سـريع . ونتيجة لوجود محتوى كازين مرتفع ولزوجة مرتفعة ، يكون الهلام الناتج متماسـكاً بصورة كافية ومتجانساً ، بالرغم من الانسياب الحادث أثناء التجلط .

العملية غير ملائمة بالنسبة للجبن الصلب وشبه الصلب ، اللبن لا يمكن تركيزه بشكل كافٍ . ويمكن أن يركز اللبن لأربع أو خمس مرات ، ثم يجلط ، يقطع الشريط الناتج من الخثرة إلى مكعبات صغيرة ، والتي تتعرض لتدميع زائد . ومن هذا تنتج عملية صناعة خثرة شبه مستمرة ذات ترشيح فائق جزئي .

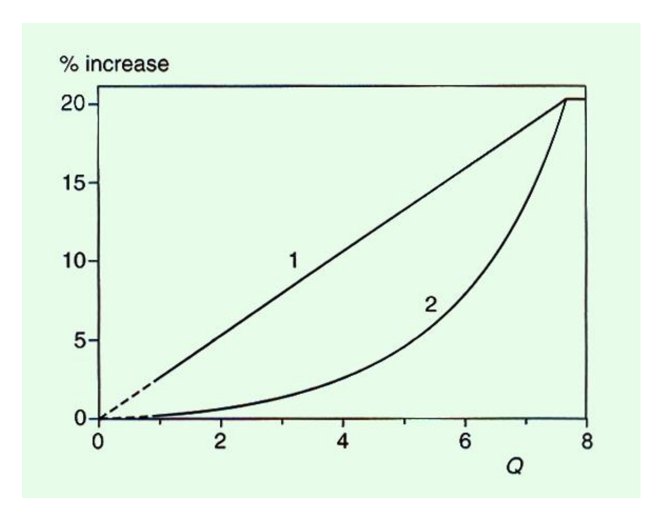
تشـمل مميزات صـناعة الجبن – فائق الترشـيح زيادة ناتج الجبن نتيجة لمسـاهمة بروتينات الشرش ، وإضافات أخرى ، وهي عملية مستمرة سوف تكون أكثر كفاءة . ومع ذلك فإن عملية الترشيح الفائق لم تقابل بنجاح عام للأسباب التالية :

- يجب أن تكون هناك فتحة مفيدة لخروج الراشح في الترشيح الفائق وهذه غالباً غير ممكنة .
- يمكن الحصول علي زيادة هامة في الإنتاج للترشيح الفائق الكامل فقط ، وليس للترشيح الفائق الجزئي . وهذا يكون نتيجة الكمية الكبيرة نسـبياً للماء غير المذيب لأغلب البروتينات المذكورة في الفصل الماضي (حوالي 2.5 جرام من الماء لكل جرام باراكازين) . نتائج تقريبية تم توضيحها في شـكل 9.24 ويلاحظ أن الناتج قد ازداد عندما نصـل إلى خمس أضـعاف التركيز اللبن – والذي هو أقصى تركيز ممكن بـــ 4% فقط ، بالمقارنة بنسبة 14% إذا كانت قيمة الماء غير المذيب صفر . (ملحوظة ، الملاحظة التي تشير إلى أن بعض بروتينات الشرش تكون مشتركة ، وكلما زادت قيمة Q ، يجب أن تكون نتيجة للتأثير المنخلي sieving effect ، كلما ارتفعت Q كلما صـغرت الثقوب المتكونة في الهلام ، وكلما كبر الفرق في معدل الانسـياب خلال الهلام بين الماء وجزيئات البروتين .
- يكون معدل التحلل البروتيني أثناء نضـج الجبن منخفضـاً (انظر تحت فصـل 4.3.24) ويؤدي ذلك إلى انعدام النكهة .

- لا تكون الحفر في الجبن نتيجة لإنتاج ثاني أكسيد الكربون بواسطة بكتيريا البادئ ممكنة بصورة جيدة (انظر تحت فصل 1.6.24) وهي تكون عيباً في بعض الجبن وخصوصاً الجبن الطري .

4.4.24 التدميع (خروج الشرش) *Syneresis*

تميل هلامات كثيرة إلى الانكماش التلقائي ، وبالتالي تطرد السـائل . يمكن أن يحدث هلام اللبن المنفح ذلك ، طارداً الشرش والذي سوف يناقش بالتفصيل في هذا الفصل .



شكل 9.24 الزيادة النسبية في إنتاجية الجبن غير المملح نتيجة لتركيز لبن الجبن بواسطة الترشيح الفائق قبل التجلط ، كدالة على درجة تركيز Q . المنحنى 1 يفترض أن قيمة الماء غير المذيب يساوي صفر . المنحنى 2 المتوقع في التطبيق . النسبة المحسوبة للماء الثابت–إلى نسبة الباراكازين 2.5 ، ومحتوى دهن ثابت في مادة جافة قدرها 48% . نتائج تقريبية لتوضيح المسار

Figure 24.9 The relative increase in the yield of the yet unsalted cheese due to concentrating the cheese milk by ultrafiltration prior to clotting, as a function of the degree of concentration Q. Curve 1, assuming zero nonsolvent water. Curve 2, expected in practice. Calculated for a constant water-to-paracasein ratio of 2.5, and a constant fat content in the dry matter of 48%. Approximate results to illustrate the trend

1.4.4.24 ميكانيكية التدميع *The Mechanism of Syneresis*

يســـبب تجمع جســـيمات الباراكازين هلاماً حبيبياً بثقوب كبيرة نســـبياً تحتوي على الشـــرش وكريات الدهن . يُكوّن جســـيم اتصـــالاً مع حوالي ثلاثة جســـيمات أخرى ولكن مســـاحة الســـطح الكلي لها يكون متفاعلاً ، أي يمكنه تكوين اتصـــالات مع جســـيمات إضـــافية . وهذا ســـوف يســـبب اكتســـاب طاقة ربط تعطي قوة دفع . ولو أن عمل اتصـــالات جديدة هو الأكبر إعاقة فراغية للجزيء ، حيث أن الجســـيمات تكون غير متحركة في الشـــبكة . ومن جانب آخر ، عدم الحركة ليس كاملاً ، لأن الجســـيمات يمكن أن تقوم بحركة برونينية . وهذا يؤدي إلى تكون اتصـالات جديدة ، يمكن أن تضـعف ضـغط الشـد في الشـرائط المتكونة ، وهذا يمكن أن يؤدي إلى قطع هذه الشـرائط . هذه الأحداث تم توضـيحها في شـكل 10.24 . يسـمح قطع الشـرائط بحدوث انكماش وبالإضـافة إلى ذلك ، يمكن أن يسـمح بتكون اتصـالات وروابط جديدة إضافية ... إلخ .

لا يمتلك هلام المنفحة عادة آلية طرد الشرش التلقائي . وهذا لأن الهلام يمكن أن يلتصق بجدران الوعاء الموجود به . ومع ذلك فإن العملية الموضـحة في شـكل10.24 سـوف تتم ، ولكنها ســـوف تكون ثقوب أكبر محلية ومناطق أكثر كثافة في مكان آخر . تســـمى هذه العملية لتركيب الهلام التدميع الدقيق Microsyneresis . تظهر الطبقة العلوية للبن المنفح في الوعاء طرداً تلقائياً للشرش لأن سطح اللبن يكون كارهاً للماء ، واضعاً قطرة من الماء أو الشرش على السطح سوف يسبب في الحال تكون التدميع .

يمكن تمثيـل النقـل المحلي للشـــرش خلال الهلام بواســـطـة معـادلـة دارســـي Darcy equation :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{B}{\eta} \cdot \frac{\Delta P}{L} \qquad (24.1)$$

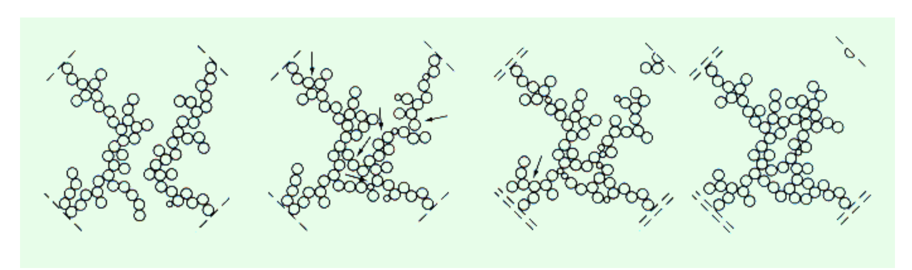
حيث V هي الســـرعة الســـطحية (متر/ثانية) للشـــرش ، وتعرف كمعدل حجم انســـيابه Q (متر^3/ثانية) على مسـاحة المقطع العرضـي A (متر^2) ، B هي نفاذية الشـبكة متر^2 ، والتي تزداد

قيمتها مع حجم الثقب وعدد الثقوب لكل وحدة المقطع العرضـــي و η هي لزوجة الشـــرش (بسكال.ثانية) . تميز هذه المعايير الهلام .

الضغط المبذول على الشرش محدثاً انسيابه يحسب بالمعادلة :

$$\Delta P = P_S + P_E \quad (24.1a)$$

حيث P_S هي ضـــغط التدميع الداخلي . وله قيمة صـــغيرة ، قيمتها واحد بســكال (وهذا راجع لضغط الجاذبية الذي يحدثه عمود ماء ارتفاعه 0.1 مليمتر) . ومن ثم ، سوف يكون التدميع بطيئاً جداً ، ولكن معدله يرفع بواســطة الضـــغط الخارجي P_E . والذي عادة ما يتكون من نوعين من الضــغط ، ضـغط الجاذبية الذي يبذل بواسـطة شـبكة الهلام (تكون كثافة الجسـيمات أعلى من الشـرش) والضــغط الميكانيكي المبذول على الهلام أو طبقة الخثرة . التأثير المتراكب Overriding effect للضغط الخارجي P_E تم توضيحه في شكل 11.24 .



شكل 10.24 رسم تخطيطي لأشرطة جسيمات الباراكازين مكونة اتصالات جديدة ، مؤدية إلى تكسير أو قطع الشريط وانكماش محلي لشبكة الهلام

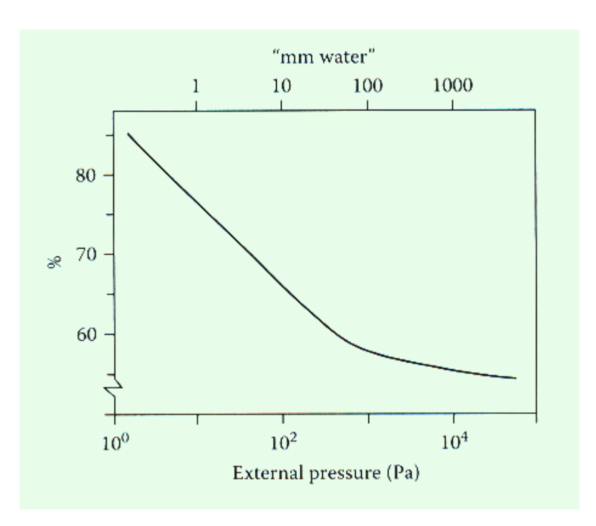
Figure 24.10 Schematic representation of strands of paracasein micelles forming new junctions, leading to the breaking of a strand and to (local) shrinkage of the gel network

L هي المسافة التي يؤثر عليها الضغط والتي ينساب فيها الشرش . سوف يسرع كثيراً تقطيع الهلام إلى قطع صـغيرة وبالتالي يزداد معدل التدميع (يعبر عنها بـــــ Q) تكون مسـافة الانسـياب أصـغر وبالإضافة إلى ذلك ، تكون مساحة السطح A أكبر (متناسبة مع L^{-1}) .

تعتمد قيم المعايير B و P_S وبالتالي معدل التدميع ، على عدد المنتج ومتغيرات العملية ، كما هو موضح في شكل 12.24 . يحتاج تأثير متغير الوقت بعض التوضيحات . في الشكل ، يعني وقت الانتظار الفترة التي تبدأ بعدها تكون عملية التدميع الكبير Macrosyneresis process ، وكل قيم P_S قيماً ابتدائية $(P_{s,0})$ ويلاحظ أن B تزداد مع وقت الانتظار نتيجة لانسياب التدميع الكبير .

قيمة $P_{s,0}$ عند الزيادات الأولى نتيجة للوقت الذي يحتاجه تركيب الهلام للتكون . وفي نفس الوقت تصبح الاتصالات بين جسيمات الباراكازين أقوى . تحدث هذه التغيرات أيضاً بعد بداية التدميع ، ولكن الوضع يكون أكثر تعقيداً . نتيجة للتدميع نفسه ، تصبح شبكة الهلام مركزة ، أي أكثر ترابطاً وهذا يقلل النفاذية . بالإضافة إلى ذلك ، قيمة B سوف تتغير كثيراً الآن مع المسافة ، بالقرب من السطح الذي ينساب الشرش خارجه ، B سوف تكون أكثر صغراً من داخل جزيئات الخثرة .

وبالتالي ، تكون ميكانيكية التدميع معقدة ، بالإضافة إلى النقاط التي سبق ذكرها ، سوف يقل الأس الهيدروجيني عادة أثناء العملية ، مغيراً أكثر المعايير ، ويمكن أن تتغير كذلك درجة الحرارة في أغلب الحالات ، ومع ذلك سوف يصبح معدل التدميع أبطأ أثناء العملية . عندما يصل المحتوى المائي مثلاً إلى 55% ، تصبح الخثرة صلبة لدرجة أن شبكة الهلام لا تستطيع الاستجابة للتشوهات التي سوف يحدثها تدميع زائد . وبمعنى آخر ، ليست النفاذية ولكن تماسك الهلام (ولكي تكون أكثر دقة اللزوجة عند ضغط منخفض) يصبح العامل المحدد وأخيراً، توضيح يجب ذكره بين معدل التدميع الذي يحدد الوقت اللازم للعملية ومدى التدميع The extent of syneresis ، أي المحتوى المائي الخارجي ، والذي يحدد خواص الجبن . من حسن الحظ ، في بداية التدميع أي عندما يكون سريعاً ، تتم إزالة كثير من الشرش دون أن يقل المحتوى المائي للخثرة كثيراً . بينما يكون الطريق الآخر بالقرب من النهاية ، عندما يكون التدميع بطيئاً (انظر شكل 13.24) . وهذا يسمح بتعديل نقطة نهاية العملية . ويمكن أن يتم إيقاف التدميع بخفض درجة الحرارة .



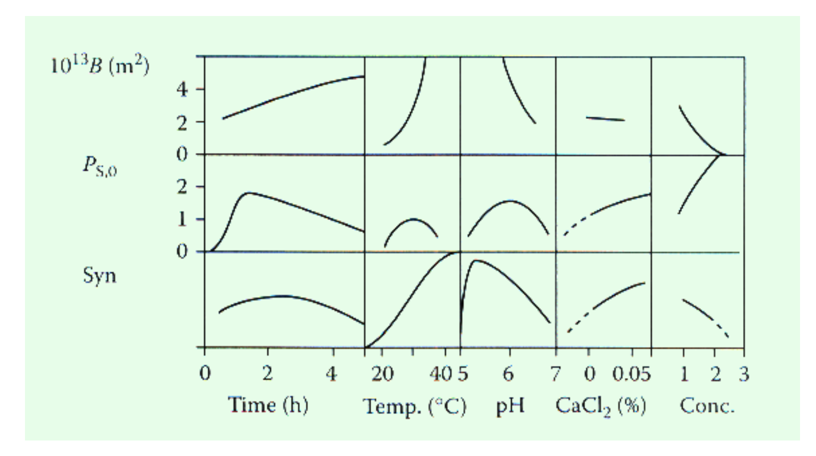
شكل 11.24 نسبة المحتوى المائي للخثرة المصنوعة من اللبن كامل الدسم بعد ساعة واحدة من التقليب وساعة واحدة من الضغط تحت الشرش عند ضغوط مختلفة . الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة تم تثبيتهما

Figure 24.11 Water content (%) of curd made of whole milk after 1 h stirring and 1 h pressing under the whey at various pressures. pH and temperature were kept constant

2.4.4.24 العوامل المؤثرة على التدميع *Factors Affecting Syneresis*

يمكن أن يختلف التأثير الذي تملكه بعض العوامل على التدميع بصورة واسعة حسب الظروف . السبب الرئيسي هو أن ضغط التدميع وكذلك النفاذية يمكن أن تؤثر (انظر شكل 12.24) . في الجبن عالي الرطوبة ، يجب أن يكون التدميع بطيئاً أو أن يتوقف بعد وقت معين . يؤثر معدل التدميع عند ذلك على النتيجة النهائية . ومع ذلك ، يكون معدل التدميع أقل أهمية إذا كان الجبن ذا محتوى مائي منخفض ، العوامل المؤثرة على التدميع هي :

1. تماسك الهلام أثناء التقطيع Firmness of the gel at cutting إذا كان الهلام مازال ضعيفاً عند التقطيع ، فإنه يميل إلى التدميع قليلاً ، ولكن التدميع سوف يزداد بسرعة . ومن المهم أن كمية كبيرة من الخثرة الدقيقة تنطلق ، مسببة انخفاضاً في إنتاجية الجبن . وكقاعدة ، يجب أن يكون معامل القص للهلام حوالي 30 بسكال عندما يبدأ التقطيع .

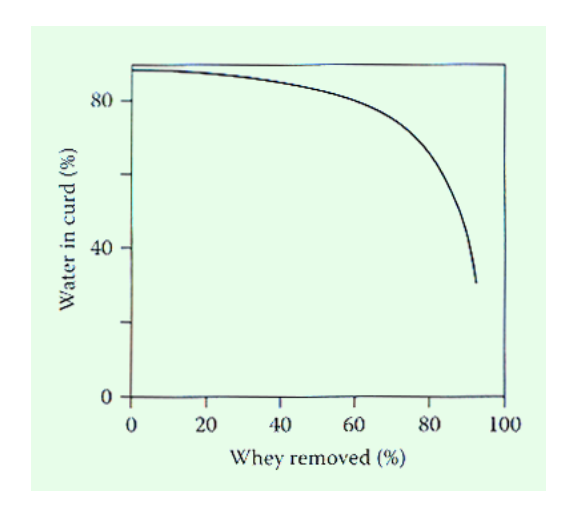


شكل 12.24 تأثير الوقت بعد إضافة المنفحة ، درجة الحرارة ، الأس الهيدروجيني ، إضافة كلوريد الكالسيوم ، وتركيز اللبن (بواسطة الترشيح الفائق) على التدميع ، النفاذية (B) ، ضغط التدميع الداخلي ($P_{S.O}$) ومعدل التدميع التقريبي (*Syn*) . تأثير الوقت يرجع إلى الأوضاع بدون تدميع كبير ، أي أن التدميع يسمح له بالبدء عند الوقت الموضح

Figure 24.12 Effect of time after rennet addition, temperature, pH, added $CaCl_2$, and concentrating of the milk (by ultrafiltration) on syneresis: permeability (*B*), endogenous syneresis pressure ($p_{s,0}$), and approximate syneresis rate (Syn). The influence of the time refers to situations without (macro) syneresis, i.e., the syneresis is allowed to begin at the time indicated

2. مساحة سطح الخثرة Surface area of the curd ، في البداية ، يكون التدميع متناسباً مع مساحة السطح البيني بين الخثرة والشرش ، وطبقاً لذلك يطرد الهلام كمية صغيرة جداً من الشرش إذا لم يقطع ويحافظ على التصاقه بجدار العبوة . (يلتصق اللبن المتجلط بأغلب المواد المحبة للماء ماعدا النحاس ، ويلتصق نوعاً ما مع الصلب غير القابل للصدأ ، خاصة إذا بلل بمحلول قلوي) . وعلى ذلك ، يقطع الهلام عادة على هيئة مكعبات ، وكلما كانت المكعبات صغيرة ، كلما كان التدميع سريعاً ، وفي نفس الوقت ، يتم نقل كثير من الدهن والخثرة الدقيقة إلى الشرش . إذا اختلفت حبيبات الخثرة بشكل واسع في حجمها الابتدائي، يكون الجبن الناتج غير متجانس . تنكمش الحبيبات الصغيرة أسرع وتصبح أكثر جفافاً . بالإضافة إلى

ذلك تسـتقر أغلب هذه الحبيبات عند قاع طبقة حبيبات الخثرة . فروقات صـغيرة في متوسـط حجم حبيبات الخثرة يكون لها تأثير طفيف على المحتوى المائي النهائي .



شكل 13.24 العلاقة المحسوبة بين المحتوى المائي للخثرة (للبن كامل الدسم ذو محتوى 87.7%) وكمية الشرش (6.8% من المواد الصلبة الكلية) المطرود كنسبة (وزن/وزن) من اللبن الأصلي

Figure 24.13 Caluclated relation between the water content of curd (of whole milk of 87.7% water) and the quantity of whey (6.8% total solids) expelled as a percentage (w/w) of the original milk

في التصــــنيع التقليدي للأجبان الطرية ، كتل كبيرة من الهلام يتم قطعها ويتم صــــبها في القوالب ، حيث يحدث التدميع ، وهذا يؤدي إلى محتوى مائي عالٍ .

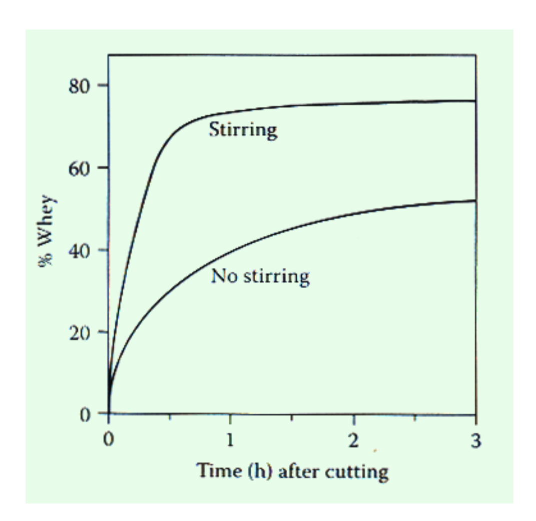
3. الضــغط Pressure ، شــكل 11.24 تمت مناقشــته بالتفصــيل من قبل ، وتنطبق النتائج على الخثرة تحت الشـــرش . يحدث التقليب ضـــغطاً ، ويســـبب فرق الضـــغط الناتج عن منحدر السرعة في المحلول ، والذي يساوي طبقاً لقانون بيرنولي Bernoulli's law $G^2d^2\rho\frac{1}{2}$ حيـث ρ هي كثـافـة الســـائـل ، و d قطر حبـة الخثرة ، و G منحـدر الســـرعـة . وهذا يحدث ضـــغطاً قدره 10 بســـكال . علاوة على ذلك ، تتصـــادم حبيبات الخثرة

وبذلك تضغط على بعضها لفترة قصيرة ، وبالإضافة إلى ذلك يمنع التقليب ترسيب الخثرة ، انطلاق الشرش يقل بسرعة في طبقة حبيبات الخثرة ، وسطح الحبيبات المتاح ، وبذلك يبطئ التدميع . شكل 14.24 يعطي مثالاً لتأثير التقليب . يقل التأثير بوضوح مع زيادة نسبة الخثرة إلى الشرش (بإزالة الشرش) ومعدل التقليب . يسبب تقليب الخثرة المصفاة أيضاً انخفاض المحتوى المائي .

4. الحموضة Acidity : تم توضيح تأثير الأس الهيدروجيني في شكل 12.24 . الشرح ليس واضحاً بالكامل . ولكن يزداد معدل التدميع بانخفاض الأس الهيدروجيني ، يقل بحدة إذا انخفض الأس الهيدروجيني تحت 5.1 . النفاذية نادراً ما تتأثر ، ولكن ينخفض ضغط التدميع الداخلي إلى الصفر ويحدث اختلافاً عندما ينخفض الأس الهيدروجيني قبل أو بعد تكون الهلام . في تصنيع الجبن بالمنفحة ، يؤدي إنتاج حامض أكثر عادة إلى تدميع سريع ومحتوى مائي نهائي أقل .
5. درجة الحرارة Temperature : لها تأثير قوي لدرجة أن التدميع يمكن أن يتوقف بالتبريد (انظر شكل 12.24) . تسرع زيادة درجة الحرارة التدميع . وبرغم ذلك ، يسبب الارتفاع السريع لدرجة الحرارة (بإضافة الماء الساخن) انكماش الطبقة الخارجية لحبيبات الخثرة بسرعة لدرجة تكون جلداً "Skin" ، أي طبقة منخفضة النفاذية تبطئ التدميع الزائد ، وهناك سبب إضافي وهو أن الجلد يصبح قاسياً لدرجة أنه يعوق ميكانيكياً أي انكماش لحبيبات الخثرة .

تؤثر درجة الحرارة أيضاً على انتفاخ وانكماش حشوة الباراكازين . ويبدو أنه كلما انخفضت درجة الحرارة يصبح الكازين أكثر انتفاخاً (انظر أيضاً شكل 20.3) . وهذا يكون هاماً عندما ينتهي التدميع ، أي عندما تصل جسيمات الباراكازين إلى ترتيب محكم متلاصق . يمكن أن يسبب ارتفاع درجة حرارة هذا الهلام المركز من الباراكازين طرداً زائداً للرطوبة ، بينما يمكن أن يؤدي انخفاض درجة الحرارة إلى امتصاص الرطوبة .

6. مكونات اللبن Composition of the milk : كلما ارتفع المحتوى الدهني ، قل انكماش الخثرة ، وعلى ذلك يرتفع المحتوى المائي النهائي في الجبن خال الدهن . (محتوى الماء في الجبن يكون منخفضاً بسبب وجود الدهن الزائد ، ليحل محل الجبن خال الدهن) . يعوق



شكل 14.24 حجم الشرش المنطلق (كنسبة من الحجم الأصلي للبن) كدالة للوقت بعد بدء التقطيع ، بالتقليب أو بدونه . الخثرة تحفظ في الشرش ، درجة الحرارة 38 درجة مئوية

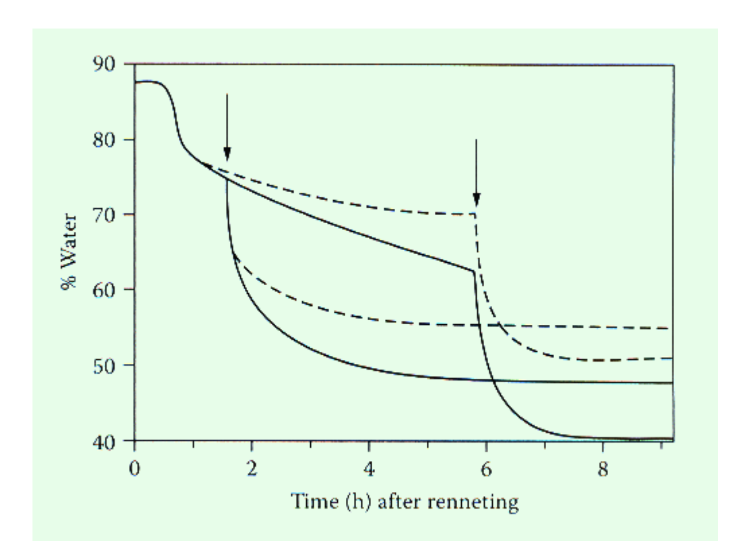
Figure 24.14 The volume of whey released (as percentage of the original volume of milk) as a function of time after the start of cutting, with or without stirring. Curd kept in the whey, temperature 38°C. (Data from A.J. Lawrence, *Austr. J. Dairy Technol.*, 14, 169, 1959)

الدهن أيضاً انسياب الشرش خارج الخثرة ، أي أن النفاذية تكون الأقل ، لأن الدهن يقلل معدل التدميع . بالإضافة إلى ذلك ، تؤثر نشاط أيونات الكالسيوم Ca^{+2} ، الأس الهيدروجيني ، المحتوى البروتيني وتركيز فوسفات الكالسيوم الغروية على التدميع . يتجلط أغلب لبن الأبقار في الإدرار المبكر أسرع ويبدي تدميعاً أغزر . هناك اختلاف جوهري بين لبن كل بقرة على حدة .

Variable	pH	Ca	Syn	Wff	Rennet
Fat content of milk					
Pasteurization intensity					?
Cold storage of milk					
Amount of $CaCl_2$ added					
Amount of starter added[1]					
Preacidification					
Rennet concentration					
Renneting temperature					
Curd cube size	–				
Stirring intensity					
Amount of whey removed					
Time until scalding			–		
Scalding temperature					
Amount of water added					
Time until pitching[2]			–		
Pressure on curd layer	–	–			
Duration of pressing[3]			–		

شكل 15.24 تأثيرات المعاملة السابقة للبن والظروف أثناء صناعة الخثرة على الأس الهيدروجيني للخثرة عند نهاية تصنيعها (وليس الأس الهيدروجيني النهائي للجبن) ، كمية الكالسـيوم المحتجزة في الجبن ، معدل التدميع (Syn) ، المحتوى المائي النهائي للجبن خالي الدهن (wff) ، وكمية المنفحة المحتجزة في الجبن . العلامات قصـد بها فقط توضيح الاتجاه لجبن متوسط المحتوى المائي (Blank) العلاقة غير معروفة ولكن من المحتمل أن تكون ضـعيفة . (الشـرطة Dash) ليس هناك علاقة . ملاحظات (1) بادئ ميزوفيلي . (2) الوقت الكلي بين التقطيع والتفتيت (أي السـماح لحبيبات الخثرة أن تترسـب) . (3) في طبقة الخثرة أي عن طريق ألواح معدنية في القمة (وليس في القالب)

Figure 24.15 Effects of pretreatment of the milk and of conditions during curd making on the pH of the curd at the end of curd making (not the final pH of the cheese), the amount of Ca retained in the cheese, the rate of syneresis (Syn), the final water content of the fat-free cheese (Wff), and the quantity of rennet retained in the cheese. The relations are only meant to illustrate trends for cheese of average water content. (Blank): the relation is unknown but probably is weak. (Dash): no relation. Notes: (1) Mesophilic starter. (2) Total time between cutting and pitching (i.e., allowing the curd grains to sediment). (3) On the curd layer, e.g., by means of metal plates on top (not in the molds)



شكل 16.24 أمثلة لمسار المحتوى المائي للخثرة أثناء تصنيعها . القطع بعد نصف ساعة ، عند لحظتين (تم تحديدها بواسطة أسهم) يتم فصل الخثرة عن الشرش وتوضع داخل القالب . الخطوط المتقطعة تشير إلى تجارب بدون إضافة البادئ . مخلوط الخثرة والشرش يقلب باستمرار . درجة الحرارة في الشرش كانت 32 درجة مئوية ودرجة الحرارة في القالب عادة تنخفض إلى 20 درجة مئوية

Figure 24.16 Examples of the course of the water content of curd during curd making. Cutting after 0.5 h. At two moments (indicated by arrows) curd was taken out of the whey and put into a cheese mold. The dotted lines refer to experiments without added starter. The curd and whey mixture was continually stirred. Temperature in the whey was 32°C throughout; temperature in the mold gradually fell to 20°C

7. متغيرات أخرى عديدة Numerous other variables لها تأثير أيضاً . هناك عدة عوامل يمكن أن تتغير في صناعة الجبن عملياً تم تلخيصها في شكل 15.24 .

5.4.24 إنتاج الحامض والغسيل *Acid Production and Washing*

يقل الأس الهيدروجيني في الخثرة نتيجة لفعل بكتيريا البادئ . يسرع هذا الانخفاض كثيراً التدميع . يتحدد معدل الانخفاض في الأس الهيدروجيني بعوامل تشمل البادئ

(الكمية المضافة ، النوع ، السلالة) ، المكونات والمعاملة السابقة للبن ، ودرجة الحرارة أثناء معاملة الخثرة .

تحصر غالباً جميع بكتيريا البادئ في الخثرة ، وهذا يقتضي أن الحامض ينتج أساساً في حبيبات الخثرة . وطالما أن الحبيبات تكون في الشرش ، فإن حامض اللاكتيك يمكن أن ينتشر منهما داخل الشرش واللاكتوز في الاتجاه المعاكس . وبهذه الطريقة ينتشر الحامض في المخلوط كله . بعد صرف الشرش يتم تراكم الحامض في الخثرة بسرعة أكبر ، ويقل محتوى اللاكتوز في الخثرة بسرعة أكبر .

في أغلب الحالات ، يؤثر معدل إنتاج الحامض ، وكذلك الأس الهيدروجيني عند عمل القالب ، تأثيراً بسيطاً على الأس الهيدروجيني النهائي للجبن . في أغلب أنواع الجبن ، يتحول اللاكتوز كله إلى حامض لاكتيك ، وهذا يقتضي أن النسبة بين حامض اللاكتيك والمواد المنظمة هي التي تحدد الأس الهيدروجيني . يكون لمحتوى الرطوبة في الخثرة أهمية قصوى ، وكلما ارتفعت الرطوبة ، كلما زاد اللاكتوز أو منتجاته . يحجز حامض اللاكتيك في الخثرة ، وبذلك يكون الجبن الناتج أكثر حموضة . المواد المنظمة الأساسية هي الباراكازين وفوسفات الكالسيوم .

وبالتالي ، يمكن أن يكون لمعدل إنتاج الحامض تأثيراً ثانوياً على الأس الهيدروجيني للجبن ، ويمكن أن يؤثر على التدميع وبالتالي على المحتوى المائي للجبن . إذا بقى الأخير ثابتاً بواسطة إجراءات إضافية ، فإنه يبقى تأثيراً صغيراً أي -0.1 وحدة في الأس الهيدروجيني . إذا كانت الخثرة أكثر حموضة عند لحظة عمل القالب ، قد تذوب بعض فوسفات الكالسيوم (شكل 15.24 ، انظر أيضاً شكل 24.24) ، وكذلك تترك مواد منظمة قليلة في الجبن . التحميض المسبق والتطعيم بكمية كبيرة من البادئ لهما تأثير مماثل . بالإضافة إلى ذلك ، يسبب الأس الهيدروجيني المنخفض عند عمل القالب انخفاضاً بسيطاً في إنتاجية المادة الصلبة للجبن . إذا أضيف الملح للجبن عند مرحلة عمل الخثرة ، فالجزء الأكبر من اللاكتوز

يجب أن يتحول قبل عمل القالب ، لأن تخمر حامض اللاكتيك يقل بصورة واضحة بعد إضافة الملح .

ولكي نضبط الأس الهيدروجيني للجبن دون الاعتماد على المحتوى المائي ، يجب إتباع خطوات أخرى . يحدث بالغسيل انخفاض أقل في الأس الهيدروجيني ، أي إضافة الماء إلى خليط الشرش والخثرة . ينتشر اللاكتوز بين حبيبات الخثرة حتى يتم الوصول لتركيزات متماثلة في الماء داخل وخارج الخثرة . يعتمد تأثير الغسيل على حجم الحبيبات ووقت التلامس . نادراً ما يتم الوصول إلى التعادل . عملياً ، تكون كفاءة خفض تركيز اللاكتوز في الخثرة 90% تقريباً .

يستخدم ماء الغسيل لرفع درجة حرارة مخلوط الخثرة والشرش عند السمط Scalding أو الطبخ Cooking . تسبب درجة الحرارة العالية التدميع الشديد ، وهناك أيضاً طرق أخرى لسمط الخثرة مثل التسخين المباشر .

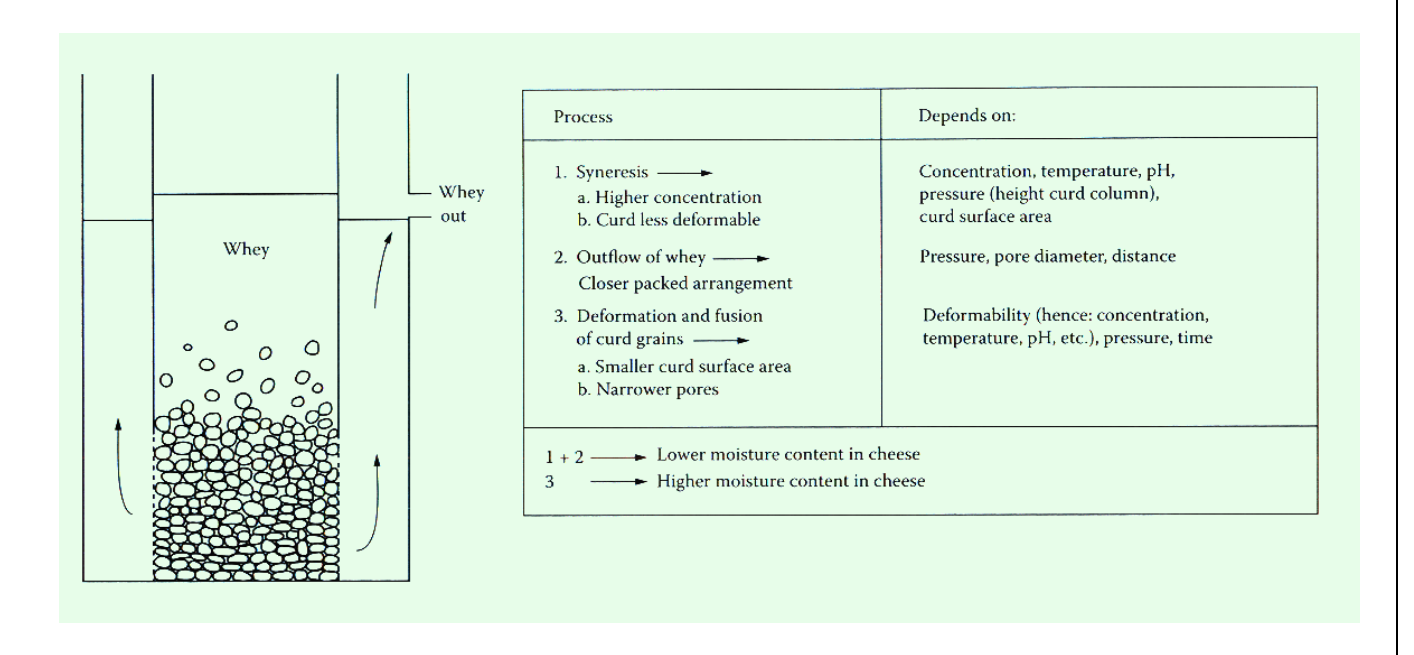
6.4.24 فصل الخثرة والشرش *Separation of Curd and Whey*

يوضح شكل 16.24 أن المحتوى المائي للخثرة يقل بشكل حاد عندما تنزع الخثرة من الشرش ، يجب أن يعزى هذا التأثير إلى ضغط الجاذبية على الخثرة ، سوف يكون معدل الزيادة حوالي 500 باسكال أو أكثر . ويلاحظ أن التقليب المستمر يسبب محتوى مائياً نهائياً أقل . إذا تم الحفاظ على درجة حرارة كتلة الخثرة ثابتة بعد صرف الشرش ، فإن وقت الفصل سوف يؤثر على المحتوى المائي النهائي قليلاً . وهذا يوضح أن في تصنيع الجبن خفض درجة الحرارة بعد صرف الشرش السريع يقيد التدميع ، كلما كبر مكعب الخثرة ، أي كلما كبر رغيف الجبن، كلما كان تبريده بطيئاً وانخفض محتواه المائي النهائي ، بالرغم من أن مسافة نقل الرطوبة تكون أطول في الرغيف الأكبر (انظر أيضاً شكل 18.24) .

يمكن أن يسمح لحبيبات الخثرة بالاستقرار وتكوين طبقة . وبالتناوب ، ينقل مخلوط الخثرة والشرش إلى اسطوانة صرف رأسية حيث تستقر فيها الخثرة ، وطالما كانت الخثرة تحت الشرش ، فإن أي ضغط ميكانيكي له تأثير على المحتوى المائي (شكل 11.24) وبذلك يكون له ارتفاع في العمود . يمكن أن يكون صرف الشرش حاسماً في عمود الخثرة في اسطوانة الصرف . ينساب الشرش أولاً بين حبيبات الخثرة ، ولكن هذه التشوهات نتيجة للضغط الحادث وللالتحام أيضاً ، تقلل مساحة سطح الخثرة ، وتضيق الثقوب بين الحبيبات وقد يؤدي ذلك إلى قفلها . يسرع الانتشار الواسع في حجم حبيبات الخثرة (أي وجود خثرة ناعمة كثيرة) من سد الثقوب ، التي تقلل الصرف . وطبقاً للظروف ، واحدة من هذه العمليات أو أخرى سوف تسود أي تسريع التدميع بواسطة الضغط أو تسبب بطئه نتيجة للالتحام على الترتيب . يوضح شكل 17.24 كل هذه التأثيرات .

في تصنيع جبن شيدر التقليدية (تحت فصل 1.4.27) ، تترك الخثرة التي حدث لها صرف لمدة طويلة بدون تبريد تكون كثيرة جداً ، بينما يحدث إنتاج كبير للحامض . يسبب وقت الانتظار الطويل والأس الهيدروجيني المنخفض انخفاض المحتوى المائي ، ومع ذلك أثناء تصنيع الجبن شيدر ، يسمح للخثرة بالانتشار ، وهذا يسرع غلق الثقوب بين حبيبات الخثرة والتحامها . العاملان الأخيران يؤديان إلى محتوى مائي أعلى مما سوف يحدث إذا لم تستطيع الخثرة الانتشار . الاختلاف يُقدر بواحد إلى 2% ماء في الجبن .

إذا صنعت الخثرة جافة جداً قبل صرف الشرش أي بواسطة التقليب المطول أو بدرجة حرارة الطبخ العالية ، تؤدي درجة الحرارة العالية أثناء الصرف إلى محتوى مائي عال . من المحتمل أن يحدث ذلك بواسطة قفل سريع للثقوب بين حبيبات الخثرة والتي بدورها تكون نتيجة للتشوه الزائد السريع عند درجة الحرارة العالية ، وبالتالي يكون في هذه الحالة رغيف الجبن أصغر وذا محتوى مائي أكثر انخفاضاً .



شكل 17.24 العمليات في عمود صرف الخثرة والشرش . تخطيطي للغاية انظر شكل 6.24 لتأثير الأس الهيدروجيني على تشوهات الخثرة

Figure 24.17 Processes in a draining column of curd and whey. Highly schematic. See Figure 24.6 for the effect of pH on curd deformability

لعمل خثرة جافة للغاية ، يمكن أن تقلب الخثرة التي حدث لها صرف ثانية ، وهذا يسبب فقداً كبيراً للدهن والخثرة الرقيقة في الشرش وفتحات ميكانيكية مميزة في الجبن .

وسوف يكون واضحاً أن خطوات العمليات المختلفة يجب أن تتوافق مع بعضها . يوضح شكل 16.24 أن ذلك يكون صعباً إذا تم صرف الخثرة بعد أن تصنع في دفعات في الوعاء ، وقولبتها وضغطها في عمليات مستمرة ، لأن التدميع يخرج في الوعاء ، وهذا سوف يؤدي إلى تغيير معنوي في المحتوى المائي للأجبان ، ولكي نتغلب على هذه المشكلة ، فيمكن أن يقلب مخلوط الخثرة والشرش بلطف في وعاء التنظيم buffer tank بينما نخفض تدريجياً من درجة الحرارة (انظر شكل 9.27) وفي نفس الوقت يمكن أن تنقل من وعاء التنظيم إلى آلات التعبئة وعمل القالب .

أدت الميكنة ووزن الخثرة التي أصبحت الآن تطبيقات عادية إلى استخدام جدول زمني محدد لخطوات العمليات المختلفة . يستوجب التأقلم أثناء عمليات التصنيع ، مثلاً تغيير تطور الحموضة أو معدل التدميع وهذا يصعب تحقيقه ، ولذلك يجب البدء بكميات كبيرة من اللبن (لأن ذلك يستدعي تغيرات قليلة في المكونات من دفعة إلى أخرى) وتقييس ظروف العمليات . يمكن أن تبرز مشاكل من تغيير معدلات إنتاج الحامض والتي عادة ما يسببها التلوث بلاقمات بكتيرية .

5.24 التشكيل والكبس *Shaping and Pressing*

من المرغوب فيه في أغلب الحالات ، أن نصنع خثرة بكتلة مترابطة يكون من السهل تداولها ، تكون ذات حجم مناسب ، ولها صلابة معينة وسطح أملس متماسك . ولتحقيق ذلك، يتم تشكيل الخثرة بوضعها في قوالب ، تشتمل العملية في الأجبان الصلبة وشبه الصلبة على ضغط الخثرة .

يمكن إنجاز تشـــكيل الخثرة فقط إذا كانت الحبيبات قابلة للتشـــوه والالتحام (انظر أيضـــاً شـــكل 17.24) . التشـــوه مطلوب لأن كتلة الخثرة كلها يجب أن تأخذ شـــكل القالب ، ولأن الحبيبات يجب أن تلامس بعضـــها البعض من خلال مســـاحة ســـطحها الكلي . نحتاج إلى التشـــوه اللزج أي أن كتلة الخثرة يجب أن تحافظ على شـــكلها المكتســـب عندما ترفع القوة الخارجية . كلما كبرت القوة ، يكون التشـــوه أســـرع ، ويمكن أن يكون الضـــغط مفيداً ، تتأثر التشـــوهات بواســـطة مكونات الخثرة . تزداد التشـــوهات بنقص الأس الهيدروجيني حتى أس هيـدروجيني يتراوح بين 5.2 و5.3 عنـد أس هيـدروجيني منخفض تكون الخثرة أقـل قـابليـة للتشوه (انظر شكل 6.24) بالإضـافة إلى ذلك ، تزداد القابلية للتشوه مع المحتوى المائي وخصوصاً مع درجة الحرارة . يمكن أن تعجن الخثرة عند درجة حرارة عالية (60 درجة مئوية مثلاً) وتشـكل في أي شكل يمكن أيضاً أن تكون قابلة للشد عند أس هيدروجيني مناسب . تستخدم هذه الخاصية في صـناعة الأجبان المســتخدمة مع المكرونة Pasta Filata (تحت فصـل 5.2.27) . تؤثر درجة الحرارة العالية والعجن kneading أيضـــاً على التماســـك ، أي أن الجبن يصـــبح متيناً وناعماً . بالنســبة للخثرة ضـعيفة التشـوه (أس هيدروجيني منخفض ، محتوى مائي منخفض ، ودرجة حرارة منخفضـة) يمكن للنُقر أن تتكون في الجبن ، حتى لو تم ضغطها بشـدة . يمكن أن تكون هذه حالة الجبن الشـــيدر التقليدية ، ولكن ذلك يخص القطع الكبيرة من الخثرة المتكونة بقطع كتلة الخثرة الملتحمة ، ويمكن أن تمر هذه القطع بتشـــوه كبير ، وبالإضـــافة إلى ذلك ، خارج هذه القطع من الخثرة تكون صـــلبة نتيجة للملح المضـــاف . يجب أن يكون الضـــغط المبذول مرتفعاً ودرجة الحرارة ليس منخفضة للغاية .

يتم تسريع التحام حبيبات الخثرة في كتلة مستمرة بواسطة زيادة السطح الذي يلامس كل منها . من الواضـح أن هناك ظروفاً تسـمح بسـهولة التشوه وبالتالي تسـرع الالتحام . إذا أظهرت الخثرة تدميعاً معنوياً أثناء عمل القالب ، يضـــاد الالتحام بواســـطة طبقة الشـــرش المتكونة بين

الجزيئات ، يتم الالتحام بسهولة إذا كان الأس الهيدروجيني منخفضاً نوعاً ما أي 5.5 يمكن أن يحدث هذا بواسطة الروابط الجديدة المتكونة بين جسيمات الباراكازين .

الخثرة الحامضة ضعيفة الالتحام . إذا تم تقليب الخثرة حتى ينخفض أسها الهيدروجيني إلى 5.0 وتبرد أيضاً ، فإنه لا يمكن ضغطها إلى كتلة متماسكة ويتحلل رغيف الجبن في الحال عند إعادة قولبته .

عادة ما يتم الالتحام خلال يوم بعد عمل الخثرة ، والذي يعني عدم وجود ثقوب مرئية بين حبيبات الخثرة في كتلة الخثرة ، قد انخفض معامل النفاذية إلى 10^{-15} متر^2 . أيام قليلة يمكن أن يحتاجها استكمال الالتحام إلى النقطة حيث تكون الخصائص الميكانيكية للجبن قد أصبحت متجانسة تقريباً . وعلى ذلك إذا تم تشوه قطعة من الجبن عمرها يوم واحد بقوة ، تحدث شروخ بين حبيبات الخثرة الأصلية ، بينما تحدث شروخ بجبن عمره أربعة أيام خلال الحبيبات . لا تطبق هذه الملاحظات على الجبن التي تم تمليحها عند مرحلة الخثرة . وكما ذكر سابقاً ، الضغط يزيد التشكيل ، وتكون الحاجة إليه (ماعدا للجبن الطري) للحصول على سطح مقفل أي تكوين قشرة ، وهذا لا يعني أن نخفض المحتوى المائي . يمكن أن تنساب الرطوبة من كتلة الخثرة التي تكون متماسكة إلى حد ما ، لأن الشرش الحر أو الشرش المتحرك من حبيبات الخثرة يمكن أن ينساب خلال الثقوب بين الحبيبات . إذا تكونت القشرة يتم إعاقة انسياب الشرش بصورة ملحوظة ، ونتيجة لذلك واحد من تأثيرات الكبس (الضغط) هو أن أي انخفاض زائد للمحتوى المائي يكون صغيراً . وكلما بدأ الكبس مبكراً ، وارتفع الضغط المبذول ، فإن محتوى الماء المتبقي في الجبن يكون الأعلى . يستخدم كل ذلك على خثرة ليست جافة للغاية أو حامضية للغاية ، يتراوح الضغط عادة في هذه الأحوال ، بين 5 و 50 كيلوبسكال KPa . في عمل الجبن الشيدار ، حيث تكون الخثرة أكثر جفافاً وأكثر حموضة ، قد تصل الضغوط المستخدمة إلى 200 KPa ويمكن أن يستخدم الكبس في الفراغ لمنع الحفر من البقاء في الجبن .

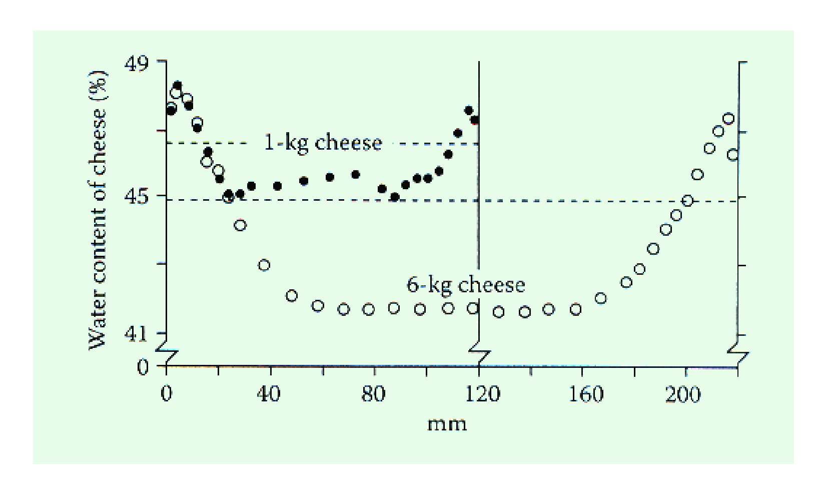
يجب قبل وأثناء الكبس ، تجنب الانخفاض السريع في درجة الحرارة ، لأن ذلك يعيق تشوه حبوب الخثرة وتكون القشـــرة . تبرد أرغفة أكبر ببطء أكبر (وحتى يمكن أن ترتفع درجة حرارتها نتيجة للحرارة التي تنتجها بكتيريا البادئ) . إذا لم تكن الخثرة صـــلبة جداً ، فإنها تكون ما تزال منتجة للتدميع . ويزداد هذا بشـــدة عند درجة حرارة عالية ، وعلى ذلك فالمحتوى المائي للجبن المضغوط سوف يكون منخفضاً بالنسبة لحجم الرغيف الأكبر . داخل كتلة جبن غير مملحة يكون المحتوى المائي أقل في المركز عنه في القشـرة ، حيث قد يصـل الفرق إلى 6% ماء ، كما هو موضـح في شكل 18.24 .

ما ذكر سـابقاً لا ينطبق على الجبن المصـنوع من خثرة مُقلبة جافة جداً . يؤدي اسـتخدام ضـــغط أعلى على مثل هـذه الخثرة إلى محتوى مـائي منخفض ، كمـا هو الحال في درجة الحرارة المنخفضـــة ، من المحتمل أن تتكون قشـــرة هذه الجبن فقط بعد خروج نســـبة كبيرة من الرطوبة بالعصر ، وبالتالي يكون التوزيع غير المتساوي للماء أقل كثيراً .

تصـــنع خثرة الشـــيدر عادة ، بواســـطة عملية تقليب الخثرة ، بعد ذلك يضـــاف الملح إلى الخثرة المفصـــولـة وتوضـــع في قوالـب أو براميـل . تنتج بعـد الكبس أرغفـة جبن كبيرة ذات أوزان تصـــل إلى 300 كيلوجرام . هـذا النـوع من الجبن لـه توزيع مـائي يمكن مقارنته بالموجود في شـــكل 18.24 أيضـــاً في هذه الحالة ، ســـوف يبرد مركز رغيف الجبن أبطأ من السطح الخارجي .

يتأثر تكوُّن القشـرة أيضـاً بالمحتوى المائي للخثرة ، درجة الحرارة والضـغط المسـتخدم أثناء عملية الكبس وفترة الكبس . عامل رئيسـي هو الصـرف المحلي للشـرش ، فإذا لم يحدث صـرف ، كما يحدث في قالب من صـلب غير مثقب أملس ، سـوف لا يصـبح السـطح مقفلاً . لا يتكون السـطح المقفول إذا أمكن إزالة الرطوبة من خلال ثقوب في القالب . يســـبب وضـــع قطعة من القماش أو الشـاش بين الجبن والقالب صرفاً أفضل وينتج عن ذلك قشـرة حقيقية ، أي طبقة رقيقة

من الجبن حوالي مليمتر واحد في السُـمك ، مع محتوى مائي منخفض مكوناً نوعاً من الجلد . يزيد التبخير التالي للماء سماكة وصلابة القشرة ، يمكن أن يسبب التبخير السريع شروخاً .



شـكل 18.24 توزيع الماء خلال أرغفة جبن مسـتديرة غير مملحة من واحد إلى 6 كيلوجرام . على الترتيب ، الأجبان تم تشـكيلها من كتلة واحدة من الخثرة ، تكبس بلطف وتحفظ لأيام قليلة . الخط المنكسـر يوضـح متوسـط المحتوى المائي في جبن مشابه لنفس الدفعة

Figure 24.18 Distribution of the water throughout unsalted spherical loaves of cheese of 1 and 6 kg, respectively. The cheeses were shaped from one mass of curd, lightly pressed, and kept for a few days. The broken lines indicate the average water content in a similar cheese of the some batch. (From T.J. Geurts, *Neth. Milk Dairy J.*, 32, 112-124

6.24 التمليح *Salting*

التمليح خطوة هامة ضـرورية في تصـنيع الجبن . تشـمل الوظائف الأولية للملح الحفظ وتأثيره على نكهة الجبن ،والقوام والنضج . بالإضافة إلى ذلك ، يثبط نمو بكتيريا حامض اللاكتيك عند محتوى ملحي عال . تحتوي أغلب أصـنـاف الجبن على 2% ملح أو من 4 إلى 5% ملح في الماء .

يمكن أن تقسم الطرق المستخدمة في تمليح الجبن على النحو التالي :

1. التمليح الجاف Dry salting : تخلط بلورات الملح مع حبيبات الخثرة ، أو مع قطع الخثرة المطحونة الناتجة عن الجبن الشيدر التقليدية .
2. الحك Rubbing : يحك الملح أو الماء الملحي على سطح الجبن . وعادة ما يكون ذلك محصوراً في تمليح الأجبان التي يكون لها مسحة ميكروبية Microbial smear على السطح . وتكرر عملية الحك عدة مرات .
3. التمليح بالمحلول الملحي Brining ، يحفظ الجبن مغموراً في محلول مركز من كلوريد الصوديوم حتى تمتص الكمية المطلوبة من الملح .

يمكن أن يستخدم أيضاً خليط من هذه الطرق . فمثلاً جبن الجريير Gruyere يملح بالمحلول الملحي ثم يتبعه حك بالملح الجاف على السطح .

يؤثر التمليح على إنتاجية الجبن حيث يدخل الملح إلى الجبن ولكن في نفس الوقت تخرج منه كمية كبيرة من الماء ، ويؤدي ذلك إلى فقد الوزن ، يقدر الفقد في الوزن نتيجة للتمليح بحوالي 3% .

توضع أغلب الأجبان في قوالب وعادة ما تكبس قبل التمليح . ثم بعد ذلك يتحول أغلب اللاكتوز إلى حامض ويتم التمليح بالمحلول الملحي . وهذا يخدم ثلاثة أغراض ، تبريد الجبن (درجة حرارة المحلول الملحي حوالي 12 درجة مئوية) ، حفظ أرغفة الجبن التي مازالت طرية من الارتخاء تحت تأثير الجاذبية ، وطبعاً أخذ الملح ، الذي يستغرق وقتاً طويلاً قبل أن يصل الملح إلى داخل الجبن . التمليح بالمحلول الملحي عملية طويلة ، غالباً ما يستغرق عدة أيام ، ويحتاج إلى فراغ كبير ، ولكنه سهل الحدوث ويمكن التحكم فيه . تؤدي زيادة أشكال التمليح بالمحلول الملحي إلى مشاكل بيئية .

المحلول الملحي ليس فقط محلول كلوريد الصوديوم . يحتوي الجبن على عدة مواد مذابة ، وخاصة حامض اللاكتيك والأملاح ، والتي تصفى وترشح للخارج ، ويكون هذا غاية في الأهمية .

إذا وضعت الجبن في محلول كلوريد صوديوم نقي ، فإنها تكون قشرة طرية والتي تتحطم أثناء التداول وليس من السهل أن تجف ، وهذا يحدث نتيجة ميل بروتينات الجبن للذوبان في المحلول الملحي (خاصة إذا لم يكن المحتوى الملحي عالياً) ، والذي يمنع حدوثه وجود أيونات كالسيوم كافية ، مع أس هيدروجيني منخفض . يؤكد هذا الأس الهيدروجيني المنخفض أن الكائنات الدقيقة لا تستطيع النمو في المحلول الملحي . في التطبيق العملي ، المحلول الملحي لا يتم تجديده أبداً ، وطبعاً يجب إضافة الملح لنحافظ على ثبات قوة المحلول الملحي .

الخلط المباشر للملح مع حبيبات الخثرة له ميزة أن الملح يصل بسرعة إلى داخل الجبن . وهو يسمح أيضاً بالاتزان السريع للمحتوى الملحي . يأخذ الأخير وقتاً طويلاً إذا كانت قطع خثرة الشيدر المطحونة جافة ومملحة . يكون التمليح أقل سهولة في الحدوث والتحكم خاصة بعد عملية تصنيع الشيدر . توضع الخثرة في القالب بعد التمليح مباشرة وتكبس بشدة ، وهذا يؤدي إلى فقد كبير للملح مع الشرش المضغوط Press whey وعلى ذلك ، فالتمليح الجاف أيضاً يسبب مشكلة بيئية .

1.6.24 نقل الكتلة أثناء التمليح ***Mass Transport During Salting***

يحدث نقل للملح في الجبن بواسطة الانتشار ، يكون انتشار الجزيئات في السائل نتيجة للحركة البرونينية أو الحرارية . يبدي كل جزيئ حركات عشوائية أو شاردة ، ولكن النتيجة هي أن الجزيئات المختلفة تصبح أكثر انتشاراً خلال الفراغ المتاح . يقتضي هذا أن أيونات الملح أو جزيئاته سوف تتحرك من منطقة عالية التركيز إلى منطقة منخفضة التركيز ، وبمعنى آخر سوف يحدث نقل صافٍ للملح ، ولكي يتم التأكد ، وهي تخص الانتشار المتبادل للملح والماء . عندما ينقل الملح في اتجاه معين ، يحدث نقل للماء الكلي في الاتجاه المعاكس .

سوف تناقش عملية النقل في حالة التمليح بالمحلول الملحي ، ولكن العلاقات الناتجة تكون صالحة أيضاً لعمليات النقل الحادثة بالانتشار الأخرى ، كما هو الحال في التمليح الجاف .

1.1.6.24 نقل الملح ***Transport of Salt***

يوضــــح شــــكل 19.24 كيف يخترق الملح داخل رغيف كبير من الجبن الذي تم تمليحه بمحلول ملحي . إذا حدث الانتشار خلال سطح مستوى ، مثل سطح الجبن تطبيق القانون الثاني لفيك Fick's second law ينتج أن :

$$\frac{C_b - C_s}{C_b - C_o} = erf\ (y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_o^y \exp(-w^2)dw \qquad (24.2)$$

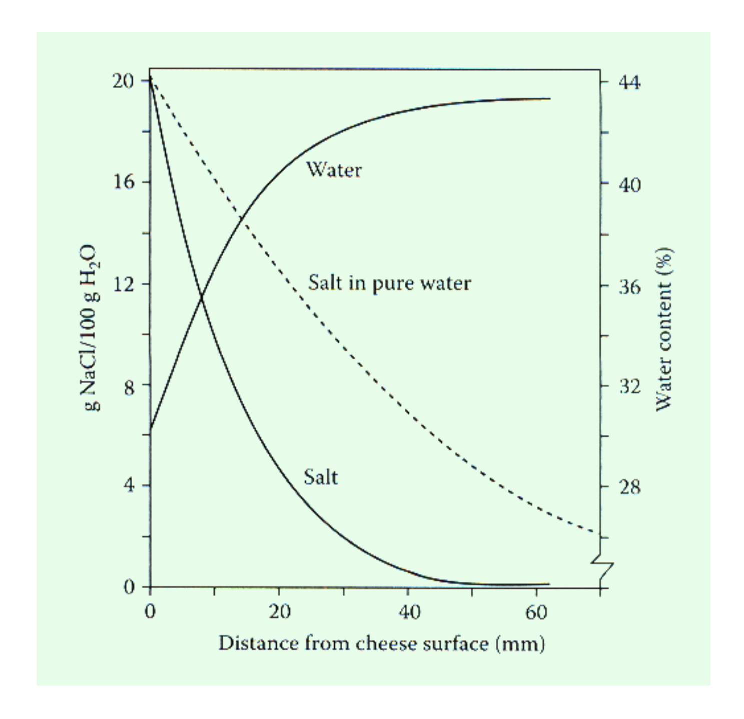
حيث :

$$y = x/(4D^*t)^{0.5}$$

حيث C هو محتوى الملح بالنســـبة للماء في المحلول الملحي (C_b) في الجبن غير المملح (C_o) وفي الجبن عند مســافة x من الســطح البيني بين الجبن–المحلول الملحي (C_s) ، t هو وقت التمليح و w هي متغير تكاملي . باســتخدام المعادلة 2.24 ، معامل الانتشـــار الفعلي D^* (متر^2.ثانية$^{-1}$) للملح المتحرك في الجبن يمكن حسابه من النتائج كما في شكل 19.24 ويمكن إضافة أن قيمة D^* لا تعتمد معنوياً على تركيز الملح .

فمثلاً $D^* = 2.3 \times 10^{-10}$ متر^2.ثانية$^{-1}$ للجبن جودا كاملة الدسم ذات محتوى مائي ابتدائي قدره 45% . D^* تكون أصــغر من D ، معامل الانتشـــار لكلوريد الصــوديوم في الماء ، وقيمته التقريبية 12.10^{-10} متر^2.ثانية$^{-1}$. في كلتا الحالتين ، هي تخص نقل الملح في الماء . الفرق بين D و D^* يظهر من أن الماء في الجبن يكون محصــوراً في المادة الخلالية Matrix وعلى ذلك يتحرك الملح في الرطوبة المحصــورة في هذه المادة الخلالية . لا الملح أو الماء يســتطيع أن ينتشــر دون إعاقة خلال الجبن ، وبالتالي $D > D^*$. فإن العوامل الأســاسـية المسئولة عن إعاقة انتشـار كلوريد الصـوديوم في الجبن هي :

1. لزوجة المخلوط viscosity of the mixture : يتناسـب معامل الانتشـار عكسـياً مع لزوجة الوسط المتاح للنقل . تكون لزوجة خليط الجبن أعلى من الماء ، مسببة في أن تكون D^* أعلى من 10% أصغر من D .



شكل 19.24 توزيع الملح والماء في جبن كاملة الدسم بعد 8 أيام من التمليح في المحلول الملحي بـــ 20.5 جرام كلوريد صوديوم/100 جرام ماء . وقد تم توضيح كيف يكون توزيع الملح إذا انتشر الملح دون إعاقة في الماء النقي

Figure 24.19 Distribution of salt and water in full-cream sheese after 8 d of salting in brine with 20.5 g NaCl/10 g H_2O. Also shown is what the salt distribution would be if the salt diffuses unhindered in pure water

2. التعرج والالتواء Tortuosity : الجزيئات (الأيونات) المنتشـــرة في الماء يجب أن تجتاز جزيئات تعترضــها بواســطة طريق ملتو ، ولذلك فإن المســافة التي تقطعها هذه الجزيئات تكون أطول . يجب أن يعبر الجزيء كريات الدهن ، ولذلك تقل D^* عند زيادة المحتوى الدهني ، ويجب أن تعبر الجزئيات المادة الخلالية البروتينية في الجبن الخالي من الدهن ، ولذلك تقل D^* مع نقص المحتوى المائي في الجبن الخالي الدهن .

3. الاحتكاك Friction ، يكون عرض الثقب في المادة الخلالية للبروتين protein matrix من واحد إلى 3 نانومتر تقريباً ، اعتماداً على المحتوى المائي ، ولأن قطر أيونات الملح المميّه هو 0.5 نانومتر على الأقل ، فإن أي تأثير احتكاكي مميز يؤثر على الأيونات المنتشرة .
4. التدفق المضـــاد Counterflux : يخترق الملح الجبن أثناء عملية التمليح ، وفي نفس الوقت يخرج ماء كثير ، ويزيد تدفق الماء عن تدفق الملح ، وعلى ذلك ينكمش الجبن (في المنطقة التي اخترقها الملح) . يقلل التدفق المضاد للماء المعدل الظاهري للملح المنتشر .

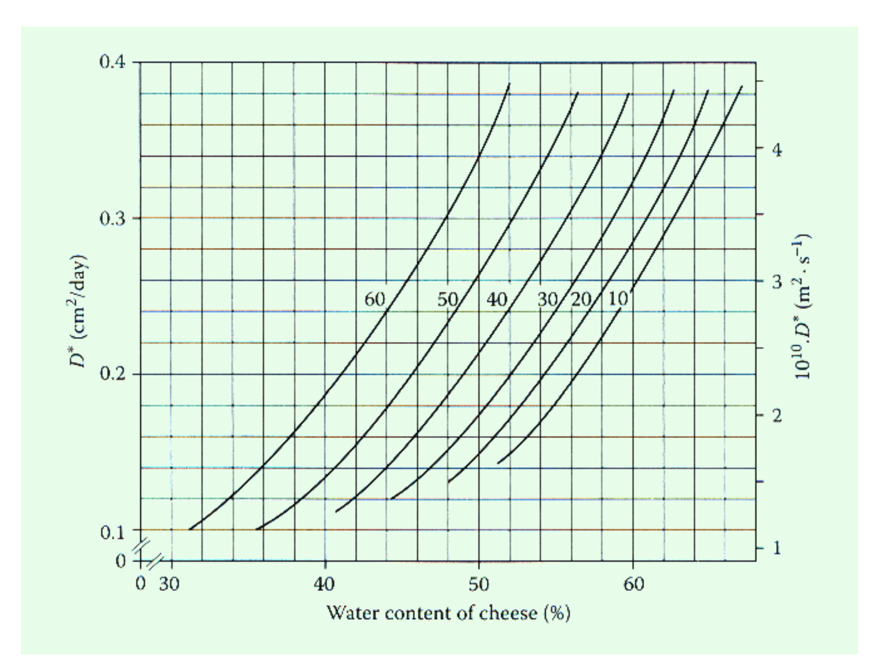
يعتمد معامل الانتشـــار الفعلي D^* كثيراً على المحتوى المائي الابتدائي (انظر شـــكل 20.24) . فمثلاً في الجبن كامل الدســم التي بها 50% ماء ، تكون قيمة D^* أكثر من ضـــعف القيمة في الجبن التي بها 39% ماء ، بالإضــافة إلى ذلك ، لنفس المحتوى المائي تزداد D^* مع زيادة المحتوى الدهني ، وهذا لأن محتوى دهنياً عالياً يقتضـــي وجود محتوى مائي أعلى في الجبن خالي الدهن ، المتغير الأخير (المحتوى المائي) له تأثير قوي على D^* عن مما لمحتوى الدهن .

إذا وضع الجبن في محلول ملحي قبل أن تضغط حبيبات الخثرة وتلتحم بالكامل في رغيف الجبن الطازج ، المادة الخلالية ســوف تحتوي بعض الثقوب الكبيرة . في هذه الحالة ، يكون معامل الانتشار للملح (والماء لهذه المادة) أكبر معنوياً أثناء الساعات الأولى لعملية التمليح مما بعد ذلك .

2.1.6.24 إزاحة الماء *Displacement of water*

متى اخترق الملح الجبن فـإن المـاء يخرج بـالانتشـــار منهـا (انظر شـــكـل 19.24 ، المحتوى المـائي الابتـدائي في الجبن هو 43% تقريبـاً) . نقـل الملح والمـاء يكون مرتبطـاً كميـاً . عامل التناســبية أو نســبة التدفق P تعرف بأنها النســبة بين النقص في المحتوى المائي والزيادة في المحتوى الملحي عند مســافة x من الســطح الفاصــل بين المحلول الملحي والجبن ، وعند الوقت ويمكن أن تكون p ثابتة داخل الجبن أي غير معتمدة على x أو t . يكون المحتوى المائي أثناء

العمليـة ، أقـل في جزء الجبن القريـب من المحلول الملحي حيـث يبقى بـدون تغير ، لأن الملح لم يخترق بعد .



شـكل 20.24 معامل الانتشـار لكلوريد الصـوديوم في الماء في الجبن (D^*) كدالة على المحتوى المائي الابتدائي للجبن . المعيار هو جرام دهن/100 جرام مادة صلبة في الجبن غير المملح

Figure 24.20 Diffusion coefficient of NaCl in the water in cheese (D^*) as a function of the initial water content of the cheese. Parameter is g fat/100 g dry matter in unsalted cheese

تركيز الملح لرطوبة الجبن كدالة على X و t يمكن حســابها باســتخدام المعادلة 2.24 . معامل الانتشـار الفعلي D^* يكون غير معتمد على الوقت t . وعلى فرض أن الملح لم يخترق بعد داخل مركز الجبن ، فإن كمية الملح الممتصة من سطح الجبن المستوى تكون على النحو التالي :

$$M_t = 2(C_b - C_o)(D^* t / \pi)^{0.5} \overline{w} \qquad (24.3)$$

حيث M_t = كمية الملح الممتص طوال الوقت ، بالكيلوجرام كلوريد الصــوديوم/متر^2 ، C_b = كيلوجرام كلوريد صوديوم/متر^3 محلول ملحي ، C_o = كيلوجرام كلوريد الصوديوم/متر^3 ماء في الجبن غير مملح ، و $\overline{w}$ = متوســط المحتوى المائي ، معبراً عنها كجزء من الجبن (كيلوجرام/كيلوجرام) . لـ $\overline{w}$ متوســط وزن المحتوى المائي في هذا الجزء من الجبن الذي يخترقه الملح الذي يجب أن يمتص ، عامل الوزن هو الملح الممتص المحلي . يوضــح جدول 1.24 الفرق التقريبي Δ مع المحتوى المائي الابتدائي . وسوف يوضح إدخال المحتوى المائي الأصلي للجبن في المعادلة 3.24 أن الملح الممتص المحسـوب يكون عالٍ جداً ، $\overline{w}$ تكون أكثر انخفاضـاً عن المحتوى المائي الأصـلي لأن الماء يتحرك للخارج أثناء عملية التمليح .

تكون نســبة التدفق P 2.5 تقريباً . يتجاوز معدل هجرة الماء معدل هجرة الملح عند كل لحظة وفي أي مكان في الجبن . ويرجع هذا إلى الإسموزية الجزئية ، لأن الإعاقة الاحتكاكية لانتشار الماء في الجبن بواسطة الثقوب الضيقة في الجبن خالي الدهن تكون أقل من انتشار كلوريد الصــوديوم . تكون هجرة الماء للخارج نتيجة مباشــرة لاختراق الملح . لا يغير الماء مكانه كنتيجة لعدم اعتماد انكماشــية المادة الخلالية ، ولكن نقص حجم الجبن ينبع من الإسموزية الجزئية . تســتجيب المادة الخلالية للجبن Cheese matrix جزئياً أو كلياً للقوى المســببة لهذا الانخفاض . إذا كان الجبن صــلباً قليلاً (أس هيدروجيني منخفض ، محتوى مائي منخفض ، درجة حرارة منخفضــة) ، فإن المادة الخلالية تقاوم الانكماش ، ويفقد قليل من الماء أقل من المادة الخلالية للجبن الأقل صلابة ، أي أن P تكون الأصغر .

يكون مدى متوســط المحتوى المائي للجزء المملح من الجبن أثناء التمليح أقل من المحتوى المائي الابتدائي والذي يعتمد على عدة عوامل ، ولكن طول وقت التمليح لا يؤثر عليه . البيانات الدالة على ذلك تم توضيحها في الجدولين 1.24 و2.24 .

جدول 1.24 تأثير بعض المتغيرات على الفرق (Δ) بين محتوى الماء الابتدائي ومتوسط محتوى الماء الموزون للجبن ونسبة الكتلة المنسابة للماء (P) إلى الملح

Table 24.1 Effect of Some Variables on the Difference (Δ) between the Initial Water Content and the Weighted Average Water Content of Cheese, and the Mass Flux Ratio (ρ) of Water to Salt

نسبة الكتلة المضافة للماء إلى الملح ρ (g/g)	الفرق بين محتوى الماء الابتدائي والموزون Δ (g/100 g)	الملح في المحلول الملحي (جرام كلوريد صوديوم/100 مليلتر) Salt in brine (g NaCl/100 ml)	درجة الحرارة (°C) Temperature (°C)	الأس الهيدروجيني للجبن pH of cheese	الماء الابتدائي جرام/100 جرام Initial water (g/100 g)	الدهن في المادة الصلبة جرام/100 جرام Fat in dry matter (g/100 g)
2.7	10	20	12.5	5.0	59	10
2.5	8.5	20	12.5	5.0	49	40
2.3	6	20	12.5	5.0	39	60
2.5	5	20	12.5	5.0	36	50
2.4	7.5	20	12.5	5.0	45	50
2.2	8.5	20	12.5	5.0	50	50
1.7	6	20	12.5	5.0	45	50
2.8	8.5	20	12.5	4.7	45	50
2.8	10	20	12.5	5.7	45	50
2.8	10	20	20	5.0	45	50
1.8	4	14	12.5	5.0	45	50
3.2	1.1	31	12.5	5.0	45	50

3.1.6.24 كمية الملح الممتص *Quantity of Salt taken up*

ومن الواضح أن كمية الملح الممتصة ليست متناسبة مع t ، ولكن لـــ $t^{0.5}$. وفي الحال M_t تزداد أكثر بطئ مما سوف يناسب ناتج المعادلة 3.24 نتيجة للأبعاد المحدودة للجبن . تحدث

المحدودية الأكبر لامتصاص الملح عندما يكون السطح منحنياً أي عند الحواف . وكلما صغر رغيف الجبن (كلما كان السطح أكثر انحناءاً) كلما ارتفع المحتوى المائي للجبن ، كلما كان هذا التأثير أقوى .

الكسر الحجمي للملح (Z) في الجبن المملح-بالمحلول الملحي يمكن أن يستنتج من المعادلة التالية :

$$Z = M_t A / G_s \qquad (24.4)$$

حيث A و G_s هما مساحة السطح والوزن بالجرام للجبن على الترتيب . كتب مرجعية عن العمليات التصنيعية التي تتعلق بالانتشار في الأجسام ذات الشكل الهندسي المتنوع ، نكون في حاجة إليها لضبط المعادلة 3.24 على أساس المعادلات الملائمة ، ومن الممكن حساب متغيرات العملية لكي نصل إلى المحتوى الملحي المطلوب في الجبن .

4.1.6.24 الماء وفقد الوزن *Water and Weight loss*

عندما يأخذ الجبن Z كيلوجرام من الملح لكل كيلوجرام من الجبن (المملح) ، فإنه سوف يفقد PZ كيلوجرام من الماء ، وعلى ذلك فإن نقص وزنه سوف يكون $Z(P-1)$ كيلوجرام لكل كيلوجرام جبن . قيمة $(P-1)$ تكون في المتوسط حوالي 1.5 . يمكن أيضاً أن يحسب المحتوى المائي للجبن المملح من هذه المعايير .

5.1.6.24 التمليح الجاف *Dry Salting*

إذا ملحت الخثرة قبل الكبس ، تحدث العمليات نفسها ولكن العلاقات الكمية تختلف كثيراً ويكون من الصعب أن نتنبأ ونتحكم فيها . عند تصنيع الجبن الشيدر التقليدي ، تترسب الخثرة أولاً وتلتحم في كتلة متماسكة والتي تقطع بالتالي إلى شرائح ، ثم يخلط الملح الجاف مع الخثرة . ينتشر الملح للداخل مسبباً انسياباً عكسياً للشرش من الخثرة إلى السطح ، والذي يخلق محلولاً ملحياً حول شرائح الخثرة . بعد حوالي عشر دقائق تقريباً يكون قد تم امتصاص الكمية

جدول 2.24 تأثير عوامل هامة عديدة على تمليح الجبن

Table 24.2 Influence of Several Important Factors on the Salting of Cheese

العامل Factor	Effect on التأثير على: متوسط المحتوى المائي الموزون Weighted Average Water Content	كمية الماء المفقود Quantify of Water Lost	D^*	كمية الملح الممتص Quantity of Salt Taken Up	ρ
المحتوى الدهني Fat content	−	−	−	−	−
المحتوى المائي Water content	+	+	++	++	= /±
الأس الهيدروجيني للجبن pH of cheese	−	+	0	−	++
نسبة السطح إلى الوزن Ratio of surface to weight	0	++	0	++	+
درجة الحرارة Temperature	−	+	+	+	+
طول فترة التمليح Duration of brining	0	++	0	++	00
محتوى الملح في المحلول الملحي Salt content of brine	−	++	b/0	++	++
الأس الهيدورجيني للمحلول الملحي pH of brine	+	−	؟	+	−

ملحوظة : يدل متوسـط المحتوى المائي الموزون على ذلك الجزء من الجبن الذي حدث فيه اختراق للملح ، D^* هي معامل الانتشار الفعلي للملح في الماء في الجبن ، P هي معدل انسياب كتلة الماء/الملح ، الكميات المذكورة هي لكل كيلوجرام جبن ، + علاقة موجبة ، ++ علاقة موجبة قوية ، ± علاقة مشكوك فيها ، ولكن في الأغلب قليلة، 0 لاتوجد علاقة ، − علاقة سالبة ، و؟ لم تختبر .

a تعتمد على الوقت الذي مضى بين الكبس والتمليح ، ولكن عادة ~0 .

b D^* يمكن أن تكون أقل قليلاً عندما يكون تركيز الملح في المحلول الملحي عالياً جداً .

Note: Weighted average water content refers of that part of the cheese in which the salt has penetrated; D^* is effective diffusion coefficient of the salt in the water in the cheese; ρ is mass strong positive correlation; ± = correlation questionable, but at most slight; 0 = no correlation; - = negative correlation; and ? = not investigated.

a Depends on time elapsed between pressing and brining, but generally ~0.

b D^* may be slightly smaller when the salt concentration of the brine is very high.

الصـــحيحة من الملح ، ولكن بالإضـــافة للخثرة تكون كمية من المحلول الملحي موجودة والتي تطرد أثناء كبس متتالي . بهذه الطريقة يمكن أن يفقد حوالي 50% من الملح المضـــاف ، كذلك كمية كبيرة من رطوبة الجبن وخصـــوصـــاً إذا كان خلط الملح غير كافٍ مع الخثرة . تزيد الزيادة في معدل التمليح من فقد الملح النســـبي للملح مع عملية كبس الشـــرش ، ومن الصـــعوبة أن نحصـــل على تركيزات عالية في الجبن . يمكن الحصـــول على جرعة أكثر دقة إذا لم يســـمح لحبيبات الخثرة أن تلتحم قبل إضافة الملح ، كما يحدث بعد عمل "الخثرة المقلبة" .

2.6.24 متغيرات هامة *Important Variables*

عوامل مؤثرة في D^* و P ، محتوى الملح ، المحتوى المائي للجبن بعد التمليح تم توضـيحها في جدول 2.24 . يقدم شكل 21.24 نتائج متعلقة بوقت التمليح .

تتـأثر D^* أوليـاً بـالمحتوى المـائي والـدهني (شـــكـل 20.24) . درجـة الحرارة لهـا تـأثير محـدود . في حـدود أس هيـدروجيني يتراوح بين 4.7 و5.7 ، لا تعتمـد D^* معنويـاً على الأس الهيدروجيني . نادراً ما تتأثر نسبة الانسياب P بالمحتوى المائي ، ولكن جميع العوامل الأخرى يكون لها تأثير .

يعتمـد محتوى الملح والمـاء بعـد عمليـة التمليح على المحتوى المـائي الابتـدائي ، المحتوى الدهني ، نســبة الســطح إلى الكتلة ، محتوى الملح في المحلول الملحي ، وطبعاً فترة التمليح . لدرجة الحرارة والأس الهيدروجيني للجبن والمحلول الملحي تأثير قليل ولكن معنوي .

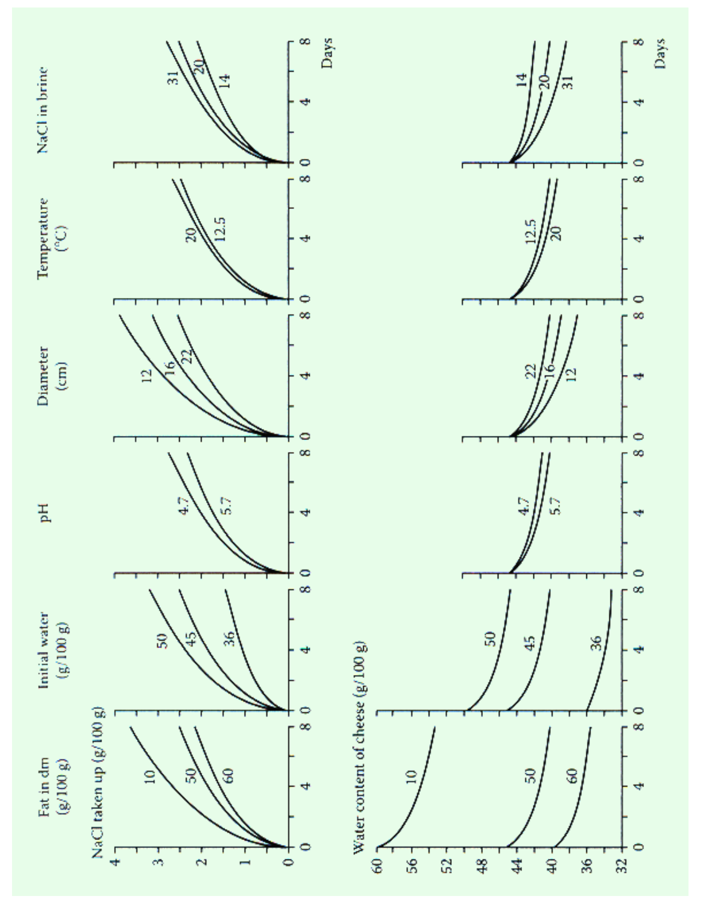
ليس من الســـهـل التـأكيـد على أن جميع أرغفـة الجبن تحتوي على نفس كميـة الملح وتمتصـــهـا من جميع الجوانب . ويعتمـد هـذا على عمليـة التمليح . تقليـدياً توضـــع الأرغفـة في حوض ضـــحـل ممتلئ بمحلول ملحي ، تطفو الأرغفـة وترش الجوانـب العليـا بـالملح لكي نتـأكـد من امتصـــاص الملح (وفقـد المـاء) من جميع الجوانـب ، وبـالتـالي تقلـب الأجبـان بـانتظـام . عنـدمـا يكتســـب كميـة كـافيـة من الملح ، تزال الأرغفـة وتترك لكي تجف قبـل التداول . عـادة مـا تســـتخـدم أحواض بقنوات طويلـة ملفوفـة Winding channel . تنقـل الأرغفـة ببطء

خلال الممرات أو القنوات ، بينما يقلب المحلول الملحي ، يمكن أن يملح الجبن أيضاً في أحواض عميقة ، تكدس الأجبان في أقفاص كبيرة من السلك والتي تكون مغمورة بالكامل ، ويقلب المحلول الملحي وبذلك يسمح بتمليح جيد لكل الأرغفة . توفر هذه الطريقة فراغ أرضية Floor space مناسب ولكنها تحتاج ماكينات إضافية لتحميل وتفريغ الأقفاص ، ولوضع الأقفاص في وخارج الحوض .

يجب أن يضاف الملح للمحافظة على قوة ثابتة للمحلول الملحي وكذلك يجب ضبط الأس الهيدروجيني بانتظام بواسطة حامض الهيدروكلوريك إلى حوالي 4.8 . ولأن المحلول الملحي يخفف بالماء الذي ينساب من الجبن ، فإن الزيادة يجب أن تزال وتطرد . يحتوي المحلول الملحي على مكونات ذائبة من الجبن ، خاصة حامض اللاكتيك وأملاح الكالسيوم . بالإضافة إلى ذلك يحتوي أيضاً على بقايا ومخلفات تزال بانتظام ، ويفضل إزالتها بواسطة الترشيح الدقيق micro filtration .

لكي نوفر وقت العملية ، يوضع الجبن عادة في محلول ملحي بعد الكبس مباشرة ، وهذه لها بعض النتائج الهامة ، أولاً كما ذكر سابقاً ، تؤدي إلى امتصاص أعلى وأكثر اختلافاً للملح لأن قشرة الجبن عادة ما تكون غير مكتملة القفل ، ثانياً ، مازال الجبن يبدي بعض التدميع وبواسطته يمكن أن تصل مكونات أكثر ذوباناً إلى المحلول الملحي ، ثالثاً ، لم يتحول اللاكتوز في الجبن بعد إلى حامض لاكتيك وهذا يعني أن المحلول الملحي سوف يحتوي على لاكتوز .

وجود اللاكتوز له بعض النتائج مثل وجود حامض لاكتيك أقل في المحلول الملحي، وعلى ذلك يرتفع الأس الهيدروجيني ، إلا إذا أضيف حامض الهيدروكلوريك . ويمكن أيضاً أن يؤدي إلى نمو الكائنات الدقيقة المقاومة للملح في المحلول الملحي ، هذه الكائنات يمكن أن تزال بواسطة ترشيح دقيق منتظم ، بالإضافة إلى ذلك سوف تأخذ وقتاً طويلاً قبل أن تحول اللاكتوز الموجود في الطبقة الخارجية للجبن إلى حامض لاكتيك ، حيث أن بكتيريا البادئ ليست مقاومة جداً للملح . في حالات شاذة هذا الوضع يمكن أن يسبب نمو كائنات دقيقة غير مرغوبة على السطح أو في الطبقة الخارجية للجبن .



شـكل 21.24 التأثيرات المتوقعة لبعض العوامل على امتصــاص الملح وعلى المحتوى المائي أثناء تمليح جبن دائري بمحتوى دهني 50% من المادة الجافة ، 62% ماء في جبن خال من الدهن غير مملح (الجبن كامل الدســم يحتوي على 45% ماء) ، الأس الهيدروجيني 5.0 ، القطر 22 ســنتيمتر (6 كيلوجرام في محلول ملحي أســه الهيدروجيني 5.0 يحتوي على 20 جرام كلوريد صوديوم لكل 100 مليلتر ، ودرجة حرارة 12.5 مئوية (إلا إذا ذكر غير ذلك)

Figure 24.21 Predicted effects of some factors on the salt uptake and on the water content during salting of a spherical cheese with 5% fat in the dry matter, 62% water in the unsalted fat-free cheese (hence, a full-cream cheese contains 45% water), pH 5.0, diameter 22 cm (~6 kg), in brine of pH 5.0 containing 20 g NaCl/100 ml, and a temperature of 12.5°C (unless stated otherwise)

3.6.24 توزيع الملح والماء بعد التمليح

Distribution of Salt and Water after Salting

بعد التمليح ، يصبح الماء والملح موزعين خلال كتلة الجبن ، وهذا يستغرق من 4 إلى 6 أسابيع لجبن آدام Edam cheese ولـ 12 كيلوجرام من جبن جودا يستغرق 8 أسابيع ، ويستغرق من 7 إلى 10 أيام للجبن كاميمبيرت Camembert والجبن بري Brie ، وللجبن إيمنتالير Emmentaler أكثر من 4 أشهر . مثال لتطور توزيع الملح–في–الماء في الجبن من النوع جودا Gouda تم توضيحه في شكل 22.24 .

سوف لا يصبح توزيع الماء والملح كاملاً أبداً لحدوث بعض العمليات المختلفة . ينتشر كل من الملح والماء ولكن معامل الانتشار الفعلي للماء يكون أكبر من الملح . مع مقياس الوقت الطويل الحادث ، يمكن عادة أن تستجيب المادة الخلالية للجبن مع تغيرات الحجم المحلي ، بالإضافة إلى ذلك يفقد الماء بالتبخير خلال القشرة وهذه يمكن أن تكون كمية ضخمة (انظر جدول 4.24) . أخيراً ، يمكن أن تؤدي عمليات النضج إلى تغيرات محلية في النشاط المائي ، وعلى ذلك يحدث انتشار مائي .

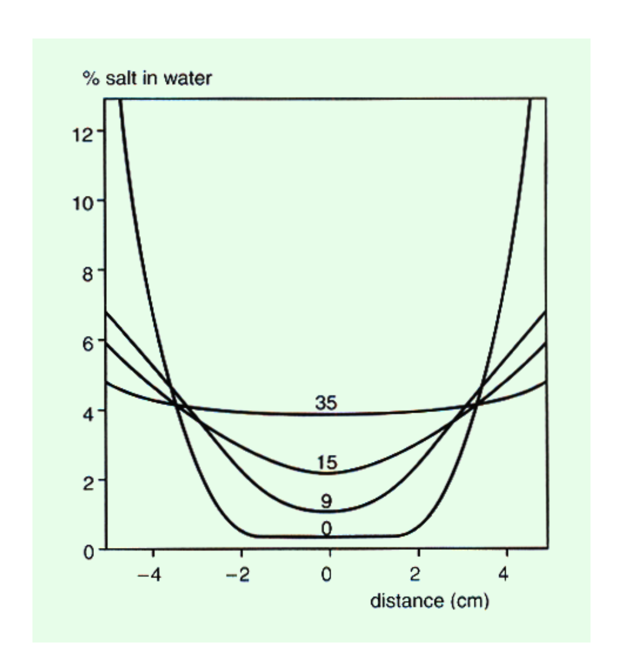
إذا ملح الجبن في مرحلة تكوُّن الخثرة ، يكون الملح في البداية غير موزع بالكامل ، خاصة عندما تقطع الخثرة إلى شرائح كبيرة نسبياً كما في صناعة الجبن الشيدر التقليدي ، وهي بذلك تستغرق وقتاً طويلاً لكي تصل إلى التوزيع الموحد للملح ، وكمثال ، بعد أسبوع يكون الانحراف القياسي النسبي بين العينات المأخوذة من عينة جبن واحدة 25% ، بينما بعد تسعة أسابيع يكون 10% فقط . وهذا يمكن وصفه بخلط غير كاف للملح والخثرة ، لأن بعد هذا الوقت الطويل يجب أن يختفي الفرق بين محتوى الملح عند نقط مختلفة في شريحة واحدة من الخثرة (القطر حوالي 2 سنتيمتر) .

7.24 المعالجة والتخزين والتداول *Curing ,Storage, and Handling*

في هذا الفصل تم وصف أساسيات تخزين الجبن الأساسية ، أنواع الجبن التي تم تمليحها تم أخذها في الاعتبار ، أي الأنواع أكثر إنتاجاً ، ويمكن أن نميز الآتي :

أ- أنواع من الجبن بفلورا سطحية معينة أو أعفان داخلية ، بالإضافة إلى الفلورا العادية لبكتيريا حامض اللاكتيك .

ب- أنواع من الجبن بدون فلورا معينة .



شكل 22.24 توزيع الملح في الماء كدالة على المسافة من مستوى المركز في جبن النوع جودا ذات سمك 10 سنتيمتر بعد عدة أيام مختلفة بعد التمليح بمحلول ملحي (موضحة بالقرب من المنحنيات) . وقت التمليح كان خمسة أيام تقريباً. النتائج تقريبية لتوضيح الاتجاهات

Figure 24.22 Distribution of salt in water as a function of distance from the center plane in a Gouda-type cheese of 10 cm thickness at various numbers of days after brining (indicated near the curves). Brining time was approximately 5 d. Approximate results to illustrate trends

يبدأ تخزين الجبن بعد تصنيعه ، عادة يكون ذلك بعد التمليح . في صناعة الجبن شيدار يخلط الملح مع الخثرة قبل عملية الكبس . يملح نوع الجبن فيتا أولاً وبعدها تعتق في محلول ملحي أو في الشرش الحامض المضاف إليه الملح ، وهذا ينطبق أيضاً على الجبن من النوع الدمياطي Domiati type of cheese في هذه الصناعة ، يزود اللبن بمحتوى ملحي مرتفع (8% إلى 15% كلوريد صوديوم) ، وينتج الحامض في الجبن بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك المقاومة للملح .

يقصد به تخزين الجبن الناضج حفظه صالحاً للاستهلاك ، يجب أن تنمى الخواص المميزة للمنتج ، النكهة ، القوام ، المظهر الخارجي والقشرة . أي فقد ، خاصة التي يسببها تبخر الماء الزائد ، وكذلك تدهور القشرة أو الملمس نتيجة لميكروبات غير مرغوبة أو لوجود حلم الجبن Cheese mites يجب منعها . لبعض الأجبان ، يمكن أن يحتاج التداول أثناء التعتيق إلى عمالة أكبر من عملية التصنيع الأصلي .

تعتمد المعاملة الفعلية معنوياً على نوع الجبن المستخدم ، وتختلف مع التقدم في النضج ، أنواع مختلفة لها وقت نضج وعمر صلاحية قصيرين ، بينما يتلاءم البعض الآخر من الأجبان مع التخزين الطويل (جدول 3.24) . الفصول التالية تغطي المتغيرات الأساسية .

1.7.24 درجة الحرارة *Temperature*

تؤثر درجة الحرارة على معدل نمو ميكروبات فلورا معينة مرغوبة ونشاط إنزيماتها وكذلك على إنزيمات ذات أصل غريب خاصة المنفحة والبادئ ، والتي بدورها تؤثر على معدل النضج . تسبب عادة درجة الحرارة المرتفعة نضجاً أسرع ، ولكن في نفس الوقت فإنها تسرع من حدوث الفساد بواسطة نمو الميكروبات غير المرغوب فيها . مثال ذلك نمو العفن غير المرغوب فيه على السطح وتخمر حامض البيتريك . يمكن أن تعالج أنواع الجبن التي تكون حساسة للتخمر الأخير عند درجة حرارة منخفضة أثناء مرحلة النضج الأولى لكي نسمح للملح بأن ينتشر خلال

الجبن (انظر فصل 2.26) . تستخدم هذه الطريقة خاصة للجبن الذي يستعمل في عمل الجبن المصنع .

إذا انخفضت درجة الحرارة كثيراً ، فإن معدل النضج يكون غير مرضٍ عند درجة حرارة منخفضة للغاية تبقى النكهة سطحية وغير مميزة . التخزين عند درجة حرارة منخفضة ، بعد نضج مسبق عند درجة حرارة أعلى ، عادة ما يستخدم لتبطيء عمليات النضج المستمر ولتأخير الوصول للعيوب وبذلك يطول وقت التخزين . وعلى وجه الخصوص يعامل الجبن الطري ومسبق التعليب بهذه الطريقة . يمكن أيضاً أن تجمد أنواع معينة خاصة إذا عُلبت في أوعية صغيرة ، مثل الأجبان جودا Gouda وشيدار Cheddar التي يمكن تخزينها لأكثر من 6 أشهر عند -3 درجة مئوية . إذا خزنت عند -20 درجة مئوية فهذه الأجبان تصبح سهلة التفتت .

تكون درجة حرارة – 20 مئوية مناسبة لتخزين الجبن جودا عالية الدهن (60% دهن في المادة الجافة) .

2.7.24 تكييف الهواء *Air Conditions*

تؤثر الرطوبة ، درجة الحرارة وسرعة الهواء على تبخير الماء ، لرطوبة الهواء تأثير هام على نمو الكائنات الحية في قشرة الجبن . لكي نسمح للجبن بالاحتفاظ بشكل مرضي أثناء نضج أرغفة الجبن فيجب أن تحرك بانتظام ، يجب أيضاً أن يسرع مثل هذا التحريك نمو الفلورا الهوائية على سطح الجبن كله ويمنع نمو الكائنات الدقيقة المحبة للهواء قليلاً Microaerophilic بين الرغيف والرف في الجبن الذي لا يحتوي على فلورا سطحية معينة . يمكن أن تختلف رطوبة الهواء بالقرب من سطح الجبن عن الموجود في أي مكان في حجرة التخزين .

جدول 3.24 أمثلة تقريبية لظروف التخزين أثناء نضج الجبن والتخزين ، ووقت النضج لعدد من أنواع الجبن

Table 24.3 Approximate Examples of Storage Conditions during Cheese Ripening and Storage, and of Ripening Time of a Number of Cheese Types

وقت النضج بالأيام Ripening Time (Days)	رطوبة الهواء النسبية (%) Relative Air Humidity (%)	درجة الحرارة Temperature (°C)	Stage المرحلة	نوع الجبن Type of Cheese
20-15	95	12-14		جبن طري بـدون فلورا سـطحيـة مثـل Butterkase Soft cheese without surface flora, e.g., Butterkase
35	≥ 95	12-16		جبن طري بمسحة سطحية مثل Munster Soft cheese with surface smear, e.g., Munster
	90-85	14-11	1. (10 أيام)	جبن طري ... أبيض مثل Camembert White-molded soft cheese, e.g., Camembert
35	90-85	4	2. (مـعـلـبـة) (packaged)	
100	95	10-7		جبن معرق بالأزرق مثل Roquefort Blue-veined cheese, e.g. Roquefort
300-50	90-85	16-12		جبن شـبه صـلب ، نظيف السـطح مثل Gouda Semihard cheese, clean surface, e.g., Gouda
150	95-90	16-12		جبن شـبه صـلب بفلورا سـطحية مثل Tilsiter Semihard cheese, surface flora, e.g., Tilsiter
	≥ 95	14-10	أ- 2 أسبوع	جبن صلب ، بفلورا سطحية مثل Gruyere Hard cheese, surface flora, e.g., Gruyere
	90-85	16	ب- 5-10 أسابيع	
300	85	14-10	ج- البواقي	

جبن صلب بنقر كبيرة مثل Emmentaler Hard cheese with large holes, e.g., Emmentaler	أ- أسبوعان	14-10	85-80	
	ب- 10-5 أسابيع	24-20	85-80	
	ج- البواقي	14-10	85	200-90
جبن صلب ، تمليح جاف مثل Cheddar Hard cheese, dry salted, e.g., Cheddar	أ- أسبوعان	16-12	80-75	
	ب- البواقي	7-5	80-75	300-60
جبن صلب للغاية مثل Parmesan Very hard cheese e.g., Parmesan	1. سنة واحدة	18-16	85-80	
	2. سنة واحدة	12-10	90-85	700

يمكن أن يكون معدل ومدى البخر مسئولاً جزئياً عن عيوب النمو الميكروبي في أن الجبن لا يصبح جافاً بنسبة كافية ، ومن جانب آخر فإن الجبن لا يجف بسرعة كبيرة ، خاصة ليس بعد التمليح في المحلول الملحي مباشرة ، لأن ذلك يمكن أن يسبب شروخاً أو شقوقاً في القشرة (في بعض الأوقات يشطف رغيف الجبن في الماء بعد التمليح ، وهذا يجعل القشرة تصبح طرية) . في البداية يمكن أن تنخفض الرطوبة النسبية وترتفع سرعة الهواء ، وإذا لم يكبس الجبن أو كبس بطريقة ما ، فإن ذلك يكون قشرة ضعيفة . يسبب التبخير في صلابة القشرة ، إذا تبخر ماء كثير فإن قشرة الجبن تتحول إلى طبقة قرنية وهذا يؤخر قليلاً نقل الماء والغازات . عادة ما يكوِّن الجبن الطري ناضجاً السطح تحتوي قشرة رقيقة على كثير من فوسفات الكالسيوم، خاصة عندما يصبح الأس الهيدروجيني للقشرة عالياً .

وطبعاً ، يسبب البخر فقداً للوزن ، يوازي هذا الفقد 0.2% تقريباً لكل يوم للأسبوعين الأولين في الجبن جودا (الرغيف حوالي 10 كيلوجرام) ضربت أمثلة في جدول 4.24 لنقص وزن الجبن المخزن تحت ظروف مختلفة .

3.7.24 معاملة القشرة *Rind Treatment*

1.3.7.24 الجبن بفلورا خاصة *Cheese with a Specific Flora*

يرجع القارئ إلى فصل 6.27 . في هذه الفئة يمكن أن نميز ما يلي :

أ- جبن بمسحة سطحية Cheese with a surface smear : تحتوي المسحة على كائنات دقيقة عديدة ، والتي لا تنمو إذا كان الأس الهيدروجيني في سطح الجبن منخفضاً للغاية ، يجب أن يتحلل حامض اللاكتيك أولاً ، والذي يتأثر أساسياً بوجود الخمائر ، يحفز مدد أكسجيني (هواء نقي) نمو بكتيريا عديدة ، يساعد عمل مسحات سطحية منتظمة أو غسيل الجبن بالماء أو بمحلول ملحي ضعيف تكون طبقة غروية موحدة . تختفي البكتيريا اللازمة إذا غسلت الجبن بصورة متكررة أو بشدة ، تثبط الطبقة الغروية نمو الفطر ، هناك أنواع عديدة من الجبن الطري ذات مسحة سطحية مثل مينستر Munster ، ليمبيرجير Limburger ، وبونت ليفيك Pont l'Eveque والتي تكون جميعاً صغيرة الحجم . أمثلة من الجبن شبه الصلب ذات مسحة على القشرة هي تيلسيتر Tilsiter وبورت سالو Port-salut . مثال للجبن الصلب هو جريير Gruyere ، وبمرور الوقت الطبقة الغروية عادة ما تترك لتجف ، وبعد ذلك تغلف أنواع جبن معين بعصارة الشجر Latex .

ب- الجبن ذو العفن الأبيض White-molded cheese : يمكن أن يرش الجبن بمزرعة فطر بعد تمليحها وتجفيفها جزئياً ، أو يمكن أن تضاف جراثيم فطر إلى لبن الجبن و / أو المحلول الملحي . يمكن أن تسرع ظروف النمو بضبط درجة الحرارة في غرفة النضج بالسماح بالتلامس مع الهواء (ويشمل ذلك تقليباً دائماً لأرغفة الجبن) ، وبواسطة الرطوبة النسبية العالية (والتي يجب أن تكون منخفضة عن المجموعة السابقة للأجبان) . أثناء النضج يجب منع تلوث سطح الجبن بواسطة الأعفان غير المرغوبة .

جدول 4.24 فقد الوزن في جبن جودا المخزنة لمدة 9 أيام تحت ظروف مختلفة

Table 24.4 Loss of Weight of Gouda Cheese Kept for 9 d under Various Conditions

نسبة نقص الوزن Loss of Weight (%)	الوزن الأساسي للجبن بالكيلوجرام Original Weight of Cheese (kg	الرطوبة النسبية (نسبة %) Relative Humidity (%)	درجة الحرارة (°C) Temperature (°C)	سرعة الهواء (متر/ثانية) Air Velocity (m/s)
1.7	10	85	14	0.1
2.2	10	85	14	0.2
2.6	10	85	14	0.4
3.2	10	85	14	1
2.1	10	85	12	0.2
2.3	10	85	16	0.2
2.6	10	82	14	0.2
2.1	10	86	14	0.2
1.4	10	90	14	0.2
2.7	4	85	14	0.2
2.1	15	85	14	0.2

المصدر ، بيانات من Baiman, Zuivelzicht 69,1130-1133, 1977

Source: Data from S. Bouman, *Zuivelzicht* 69, 1130-1133. 1977.

ج- الجبن الأزرق Blue Cheese : قبل أن يبدأ النضـــج تثقب الجبن بواســـطة أبر ، يمكن أن توضـع أرغفة اسـطوانية أسـفل على جوانبها الدائرية لكي تحفز المدد من الهواء داخل الثقوب المتكونة والتي تســـرع تنمو الفطر الأزرق . وتخزن الجبن عند درجة حرارة منخفضـــة نســـبياً ورطوبة نســـبية مرتفعة . يجب ألا تتكون أغلب الأجبان المعرقة بالفطر الأزرق عليها فلورا سطحية ، وعلى ذلك يجب أن تحفظ نظيفة . أنواع أخرى مثل جورجونزولا Gorgonozola ليس بها مثل هذه الفلورا .

2.3.7.24 أجبان بدون فلورا خاصة *Cheeses without a Specific Flora*

يمكننا التعرف هنا على :

أ- جبن صـلب أو شـبه صـلب مملح بمحلول ملحي Hard and semihard brine salted cheese : يمكن أن يؤثر النمو الميكروبي على قشـــرة الجبن تأثيراً ســـيئاً على نوعية الجبن ،

خاصـــة النكهة والمظهر . يكون نمو الفطر ذا أهمية خاصـــة (ينتج بعض منها سموماً فطرية) والخمائر . ولكي نتجنب مثل هذه النموات ، تزود قشـرة الجبن بغطاء سـطحي . عادة ما يغطي بعصـارة الشــجر latex –تسـمى غالباً بالمسـتحلب البلاسـتيكي–بوليمر لاتيكس لاســيتان الفينيل ، فينيل بروبيونات أو داي بيوتيل مالينات . عند الجفاف يتكون ســطح بلاستيكي متماسـك وهو يقلل بخر الماء ويقدم حماية جيدة ضـد التكسـير الميكانيكي أكثر مما تفعل الوسـائل السـابقة مثل زيت بذرة الكتان وزيت البارافين . يسـمح هذا اللاتكيس Latex لقشـرة الجبن بأن تصبح أكثر ضـعفاً . الميكنة وانتشـار تصـنيع أنواع كثيرة من الجبن كان من المسـتحيل تواجدها بدون اسـتخدام مسـتحلبات عصـارة الشـجر . يعيق هذا الفيلم ميكـانيكيـاً نمو الفطر ، ويمكن أن يحتوي أيضـــاً على مـادة قـاتلة للفطريـات مثـل ناتاميســين (= بيماريســين) وهو مضـــاد حيوي تنتجه ســتريبتوميســين ناتالنســيس *Streptomyces natalensis* أو كالسـيوم أو صـوديوم سـوربات Sodium sorbate في أغلب البلاد الأوروبية يسـمح فقط بالناتاميسـين ، وعندما يقارن بالسـوربات فإنه يعطي ميزات أن الفعل الحمائي يكون أقوى بـ 200 مرة ، وأن هجرته داخل الجبن تكون محدودة في المليمترات الخارجية القليلة ، وعلى ذلك فإنه لا تؤثر سـلبياً على شـكل وطعم ورائحة الجبن ، بالإضـافة إلى ذلك فهو غير ضـار . الكمية المسـموح بها يومياً هي 0.3 مليجرام ناتاميسين لكل كيلوجرام . وزن الجسم قد تم اقتراحها (لاحظ أن قشرة الجبن الخارجية نادراً ما تؤكل) . عادة ما تكون الكمية المستخدمة على قشرة الجبن أقل من 2 مليجرام/ديسميتر^2.

عملياً ، تسـتخدم عمليات متتابعة باللاتكس (عصـارة شـجر Latex) لجميع جوانب الجبن بعد التمليح بالمحلول الملحي Brining بفترة قصـيرة . يمكن للمعاملة أثناء المعالجة أن تتكرر ، يجب أن يكون السـطح جافاً بصـورة كافية قبل كل معاملة ، يجب أن تسـمح الظروف في غرفة النضج لعصارة اللاتكس بالجفاف بسرعة (ليس بسرعة كبيرة ، لأن الشقوق يمكن أن تكون غطاءً رقيقاً) . يمكن أن يسبب التجفيف البطيء للغاية نمو للكائنات الدقيقة ، خاصة الأشكال العنقودية

والخماشر ، يسرع مثل هذا النمو كثيراً بواسطة الرطوبة العالية بين الرغيف loaf والرف Shelf ، والتي تسببها الرطوبة التي يطردها الجبن عند بداية النضج ، ولكي نمنع ذلك ونسمح أيضاً للجبن بالاحتفاظ بشكل مرضي ، تقلب الأرغفة باستمرار أثناء هذه المرحلة، يقل المعدل مع طول المعالجة ، ومن الواضح أن التنظيف المنتظم وتجفيف الأرفف يجب أن يكون جزءاً من الخطة العامة للصحة Hygiene في غرفة المعالجة .

ب- الجبن المملح عند مرحلة الخثرة Cheese salted at the curd stage : تخزن عادة أجبان الشيدر والأجبان المنتمية إليها في قماش الجبن Cheese cloth وتحفظ نظيفة احتياطياً فقط، ومن الدارج أن تشكل الجبن عادة في شكل أرغفة مستطيلة تزن 20 كيلوجرام مثلاً . بعد عملية الكبس بقليل تقلب الأرغفة تحت الفراغ في رقاقة بلاستيكية (مثل Saran) ، تحتاج قليلاً أو لا تحتاج أي عناية إضافية . أولاً ، يجب أن ترص الأرغفة بعيداً عن بعضها لكي نسمح بالتبريد ، إذا كانت الجبن لا تزال تبدي بعض التدميع Syneresis (محتوى مائي عال أو درجة حرارة عالية) تتكون طبقة مائية بين قشرة الجبن والرقاقة يمكن للكائنات الدقيقة أن تنمو وتتكاثر فيها .

4.7.24 التعبئة *Packaging*

التعبئة جانب هام من معالجة الجبن ، تتدخل عوامل عديدة في اختيار العبوة :

(1) نوع الجبن ومقاومته للعطب الميكانيكي ، (2) وجود فلورا معينة ، (3) تعبئة المنتج النهائي، (4) النفاذية لبخار الماء ، الأكسجين ، ثاني أكسيد الكربون ، الأمونيا والضوء ، (5) تسهيلات العلامة ، (6) هجرة النكهة من العبوة إلى المنتج و(7) نظام التخزين ، التوزيع والبيع (سوبر ماركت ، محل متخصص ، ومعدل المبيعات في السوق) . هذه الجوانب لا يمكن مناقشتها هنا بالتفصيل ولكن ملاحظات سوف تذكر :

أ- بداية ، عادة ما يعامل الجبن الجاف أو شبه الجاف بشمع البارافين ، بينما تغطى كثير من الأجبان باللاتكس ، والذي هو أيضاً نوع من التعبئة ، عندما يوضع الشمع على الجبن يجب أن تكون أسطحه نظيفة وجافة ، وإلا فإن نمو البكتيريا بين قشرة الجبن والشمع البرافيني أو غطاء اللاتكس سوف يسبب مشاكل ، خاصة نتيجة لإنتاج الغاز والنكهة غير المرغوب فيها . يمكن أن يستخدم الشمع للجبن منخفض الرطوبة بعد التصنيع بوقت قصير، بينما يمكن أن يشمع فقط الجبن مرتفع الرطوبة بعد تكون قشرة مناسبة .

ب- بعض الجبن يعالج بينما يكون التعليب في أغشية الهواء–وينكمش بخار الماء بإحكام مثل رقاقة الساران Saran foil . يمكن أن يصنع الجبن على هيئة قوالب مستطيلة قد تصل إلى 300 كيلوجرام ، والتي عادة ما تباع في قطع أو شرائح مسبقة التعبئة أو لصناعة الجبن المجهز . بالمقارنة بالجبن طبيعي النضج ، هناك فروق هامة نذكر منها :

1. الجبن ليس له قشرة قاسية .
2. تكون مكوناته أكثر تجانساً لأن فقد الرطوبة يكون صغيراً للغاية .
3. للجبن محتوى مائي منخفض بعد التصنيع ، لأن هذا المحتوى يجب أن يلبي الاحتياجات لجبن "عادي" بعد النضج (والذي يفقد ماء كثير أثناء التخزين) .
4. يمكن أن ينتج البادئ ثاني أكسيد كربون قليل ، وإلا حدث فقد سريع للغلاف (انتفاخ ballooning) .
5. كلما كبرت القوالب كلما طالت مدة تبريده في درجة حرارة المعالجة ، وبذلك تزيد فرصة حدوث العيوب الميكروبية .
6. عادة ما تكون درجة حرارة المعالجة منخفضة مع الاختلافات في المكونات ، فإن ذلك يسبب خفضاً لتكون النكهة من الجبن الناضج طبيعياً وله نفس العمر .
7. بعد التبريد ، يمكن أن ترص القوالب بالقرب من بعضها ولا تحتاج لتقليب .

8.24 مكون الجبن والإنتاجية *Cheese composition and Yield*

يعتمد مكون الجبن على مكون اللبن وعلى عمليات عديدة مختلفة ، يحدد مكون الجبن مع حجمه وشكله يحدد كثيراً خواص الجبن ونوعه وجودته . يمكن أن تختلف المكونات البدائية مثل المحتوى المائي والدهني والملحي اختلافاً واسعاً . لبعض نوعيات أجبان عديدة يمكن أن تطبق مقاييس قانونية ، مثل المحتوى المائي الأقصى ومحتوى الدهن الأقصى والأدنى في المادة الجافة ، يحسب محتوى الدهن عادة على المادة الجافة ، لأن المحتوى المائي للجبن يمكن أن يتغير بصورة كبيرة أثناء التخزين ، يمكن أن تستخدم مقاييس متشابهة للمحتوى الملحي (كلوريد الصوديوم) . يمكن ضبط المكون الزائد لعمل الجبن ومعالجته بعيداً عن الإضافات مثل التوابل ، وعادة من الصعب إدراك تغيير مدروس أو متأنٍ ، عادة ما يتم ضبط محتوى الدهن بواسطة تقييس محتوى الدهن في اللبن .

يمكن أن يسبب التقدير الدقيق لمكون الجبن مشاكل نتيجة للتغير العشوائي الكبير ، يميل المكون إلى التغيير (1) بين الدفعات Batches حتى إذا استخدم نفس اللبن ، (2) بين أرغفة الجبن داخل الدفعة الواحدة (يعتمد مدى التغير بقوة على طريقة عمل الخثرة وتكوين الرغيف) ، (3) داخل الرغيف ، خاصة الأجبان المملحة بمحلول ملحي ، و(4) بوقت التقادم .

مثالياً ، يجب أخذ عينات من بعض أرغفة الجبن المختلفة ومن كل واحد منها يجب أخذ مقطع ، وتطحن وتخلط قبل التحليل .

يحدد مكون الجبن الإنتاجية ، أي كيلوجرام جبن لكل 100 كيلوجرام لبن . الإنتاجية أي كيلوجرام من الجبن تم الحصول عليه من 100 كيلوجرام لبن ، تختلف الإنتاجية بشكل واسع بين تشكيلات الجبن (انظر ملحق 12.A) .

يميل المصنّع إلى الاهتمام كثيراً بالإنتاجية ، لأنها يمكن أن تحدد الربح ، ومع ذلك فليس بالضرورة أن تؤدي إنتاجية أعلى إلى زيادة في الربح ، فمثلاً يقتضي محتوى دهني عال في الجبن إنتاجية أعلى من الجبن ، ولكن يبقى دهن لبن أقل لإنتاج الزبد ، سوف تعادل الزيادة في إنتاجية الجبن بكيلوجرام واحد نقصاً في إنتاجية الزبد بحوالي 0.7 كيلوجرام ، يفقد جزء من دهن

اللبن في الشــرش ، ولكن ذلك ليس فقداً حقيقياً ، يمكن أن يفصــل الشــرش بواسـطة عملية طرد مركزي ويضــاف كريم الشــرش إلى الدفعة القادمة للبن الجبن . إذا كان للجبن محتوى مائي ودهني قانوني . في المادة الجافة زيادة في إنتاجية البروتين بعامل X يقتضي أن نسبة الشرش ومحتوى الدهن يجب أن تزداد بعامل حوالي X . يمكن إهمال تكاليف الشــرش ولكن تكاليف دهن اللبن لا يمكن إهمالها ، ولكل كيلوجرام زيادة في الإنتاجية ســوف نحتاج إلى حوالي 0.3 كيلوجرام من الدهن ، وبالتالي يعتمد الربح على ثمن نسبة بروتين اللبن لبروتين الدهن ، بالإضافة إلى ذلك بذلت محاولات لزيـادة الإنتـاج – مثلاً بزيـادة المحتوى المـائي– يمكن أن يؤدي إلى نقص الجودة وزيـادة تكـاليف العمليات أو تكاليف المعالجة .

1.8.24 متغيرات مستخدمة ***Variables Involved***

سوف نناقش هنا أغلب العوامل التي تؤثر على المدى الذي عنده سوف تدمج مكونات مختلفة في الجبن ، والذي يؤثر بالتالي على المكون والإنتاجية .

ملاحظة ، تكون التغيرات في الإنتاجية نسباً متصلة وليست نسب وحدات .

مكون اللبن Milk composition : وهذا يؤثر بالطبع على مكون اللبن . مكونات المادة الجافة التي تصــل الجبن يمكن تصــنيفها ككريات دهن وجســيمات كازين ومواد مذابة . تحتوي كريات الدهن بجانب دهن اللبن مكونات غير دهنية لغشــاء كرية الدهن–حوالي 2 جرام لكل 100 جرام دهن (الجزء الأغلب بروتين) ويقتضــي هذا أن حوالي 2% من البروتين في الجبن كامل الدســم لا يكون كازين .

وبالرغم من أن الأجبان تحتوي على دهن أكثر من البروتين ، فإن الكازين يعتبر عادة المكون الأكثر أهمية . يمكن أن يصــنع الجبن بدهن قليل جداً ، ولكن ليس بأقل من حوالي 20% كازين (ماعدا لبعض الأجبان الطازجة) ، بالإضــافة إلى ذلك ، إذا كان مكون الجبن يجب أن يحافظ عليه ثابتاً ، أي تغير في كمية الكازين المدمج في الجبن ســوف يكون مصــاحباً بتغير نســبي مساوٍ في كميات الدهن والماء التي يتم دمجها .

ولكي نكون أكثر دقة ، فإن جسـيمات الباراكازين هي التي يتم دمجها ، وهذا يعني أن ببتيدات الكازين الكبيرة (CMP) قد تم انفصـالها ، والتي تقدر بحوالي 37% من الكابا-كازين . تختلف نسبة الأخير في الكازين الكلي وبتضمين أن 4 إلى 6% من الكازين سوف لا يصل إلى الجبن ، ومن جانب آخر تحتوي الجسيمات على فوسفات كالسيوم غروية (CCP) ، مكونة من 6 إلى 8% من المادة الجافة ، وكذلك بروتينات أخرى ، جزء من البروتيوز ببتونز وبعض الإنزيمات .

ولقد زعم أن اختيار أبقار منتجة للبن لها متغيرات جينية معينة لبروتينات معينة يمكن أن تكون مفيدة في تعظيم إنتاج الجبن . يوضح جدول 22.2 أن اللبن الذي به متغير B للكابا-كازين لها نسبة كازين/بروتين مرتفعة عن المتغير A ، والذي يعني ضمين كازين أعلى لكل وحدة بروتين ، إلا أن المتغير B أيضاً له نسبة أعلى من الكابا-كازين إلى الكازين الكلي ، متضمناً أن أغلب CMP قد فقد ، والذي لا يحدث الزيادة المقترحة في الإنتاج . يوضح الجدول أيضاً أن اللبن الذي له متغير B للبيتا لاكتوجلوبيلين تميل إلى إنتاج كازين أكثر (وأقل كابا-كازين) عن المتغير A وزيادة الإنتاجية تم ملاحظتها ، إلا أن الزيادة تكون صغيرة والعلاقة لم يتم ملاحظتها لجميع الأبقار.

يمكن أن تصل المواد المذابة في مصل اللبن إلى الجبن ، ولكن ليست في تناسب . وهذا لأن جزءاً من الماء غير متوفر كمذيب (انظر تحت فصل 1.1.10) . وكما تم مناقشته في تحت فصل 3.4.24 تكون كمية بروتينات المصل المشتملة غالباً صفراً ، ماعدا بالنسبة لتشكيلات للجبن عالي الرطوبة . بالنسبة للاكتوز ، الماء غير المذيب Nonsolvent water بكميات جبن متوسطة تصل إلى حوالي 35% من الماء الموجود .

العوامل المؤثرة على مكون الجبن تمت مناقشتها في تحت فصل 1.7.2 . يوضح الجدول 20.2 أن لبن الأغنام والجاموس به دهن عالٍ ومحتوى كازين أعلى من لبن الأبقار والماعز ، وهذا ينعكس على إنتاجية الجبن ومكوناته . يكون للتغيرات الموسمية أهمية خاصة بالنسبة لمصنعي الجبن ، ويمكن أن نلاحظ أن البادئ المضاف إلى لبن الجبن وأن اللبن المستخدم للبادئ يمكن أن

يكون له مكون مختلف ، وهو غالباً ما يخص اللبن الفرز ، وقد تستخدم أيضاً البادئات المعتمدة على الشرش .

التحلل البروتيني للكازين Proteolysis of casein ، إنزيمات محللة للبروتين عديدة يمكن أن تفصل الببتيدات من الكازين والتي تدخل المحلول ، وخاصة البيتا و α_{SI} كازين التي يتم مهاجمتها . وإذا حدث تحلل بروتيني قبل انفصال الخثرة والكبس ، فإن جميع هذه الببتيدات تقريباً سوف تفقد مع الشرش ، يمكن تمييز بعض مصادر الإنزيمات .

لإنزيمات اللبن الدخلية والتي تخص عادة البلازمين Plasmin (انظر تحت فصل 5.2.5.2) وهناك إنزيم آخر يكون نشطاً أيضاً عند درجة حرارة منخفضة ، يزداد نشاطه في اللبن مع مرحلة الإدرار ، وفي المتوسط بزيادة عدد الخلايا الجسيمة . يبقى جزء من البروتيوز بيبتونز المتكون في شكل جسيمات بارا-كازين . يكون فقد الإنتاجية عادة من 1 إلى 4% اعتماداً على وقت تخزين اللبن ونشاط البلازمين .

بكتيريا عديدة محبة للحرارة يمكنها التواجد في اللبن مكونة إنزيمات بروتينيز مقاومة للحرارة (تحت فصل 2.2.5) إذا كان التلوث مرتفعاً وخزن اللبن لعدة أيام قبل المعاملة الحرارية، فإن فقد إنتاج البروتين يمكن أن يكون مرتفعاً بمقدار 5% تقريباً . يجب أن يمنع تكوُّن هذه الإنزيمات باتباع الشروط الصحية في المزرعة ، وبواسطة معاملة اللبن حرارياً عند استلامه من المزرعة إذا خُزن لأكثر من عدة ساعات حتى تصنيع الجبن .

أغلب كائنات البادئ ، خاصة بكتيريا موجبة البروتينيز (Prt+) لاكتوكوككي ، يمكنها تحليل الكازين مائياً (تحت فصل 6.2.1.13) وهذا يحدث بدرجة كبيرة في البادئ المعتمد على اللبن Milk-based starter ويمكن أن يوجد إلى حد ما أثناء تكون الخثرة . سوف يحدث تحلل بروتيني هام أثناء التحميض المسبق للبن الجبن ، اعتماداً على مكون البادئ ، كمية البادئ المضافة والوقت الذي يمر بين إضافة البادئ وعملية الكبس ، يتراوح نقص الإنتاجية عادة بين 1 و 5% .

جميع الإنزيمات المسببة لتجلط اللبن يمكنها أن تحلل مائياً روابط عديدة في الكازين عن رابطة الفينيل-مثيونين في الكابا-كازين ، وكلما زاد ذلك كلما انخفض الأس الهيدروجيني . هذا النشاط يمكن إهماله للكيموزين عندما يكون الأس الهيدروجيني فوق 6.4 ، ولكن يكون عالياً للببيسين ولأغلب المنافح الميكروبية ، وعلى ذلك فإنها تعتمد على نوع المنفحة ، ومعدل تكون الحامض (أو التحميض المبكر) ووقت ودرجة حرارة عمل الخثرة ، إلى أي مدى ينقص الإنتاج ، وتدل النتائج المنشورة على أن النقص يتراوح بين 0 و1.5% .

إزالة الشرش Whey removal : تكون كمية الشرش المزالة المتغير الأكثر أهمية المحدد لمكون وإنتاجية الجبن ، وتعتمد على الظروف السائدة أثناء عمل الخثرة وفصل الخثرة وكبسها ، وقد تم مناقشة ذلك بالتفصيل في فصل 4.24 و5.24 .

غسل الخثرة Curd washing : يمكن أن يخفف الشرش بالماء لتنظيم الأس الهيدروجيني للجبن (انظر تحت فصل 5.4.24) وهذا أيضاً يؤثر على اندماج المادة الجافة للشرش في الجبن ، خاصة اللاكتوز ومنتجاته التحللية وأملاح اللبن . يعطي شكل 23.24 مثالاً للنقص في الإنتاجية كدالة عن كمية الماء المضاف . يكون فقد الإنتاج النموذجي في التطبيق العملي بين 2 و3% .

التحميض Acidification ، يتقدم نمو البادئ البكتيري مع عملية التحلل البروتيني كما سبق توضيحه سلفاً . وهو يسبب أيضاً عملية تحميض والتي بدورها تؤدي إلى ذوبان فوسفات الكالسيوم الغروية (CCP) . يحدد الأس الهيدروجيني عند لحظة الكبس كمية الـ CCP التي سوف لا تدمج في الجبن ، الكميات المشتركة تم توضيحها في شكل 24.24 ويتبع ذلك أن الفرق بين الكبس عند أس هيدروجيني 6.5 وعند 5.5 هو الذي يكون الفرق بين تشكيلات الجبن المختلفة ، ويقدر بحوالي 5% لكتلة الباراكازين أو حوالي 4% للمادة الجافة غير الدهنية . وهذا يكون تأثيراً حقيقياً Substantial effect . بالإضافة إلى ذلك ، سوف يكون فقد الجوامد نتيجة لغسيل الخثرة أكبر عندما تذوب كمية كبيرة من

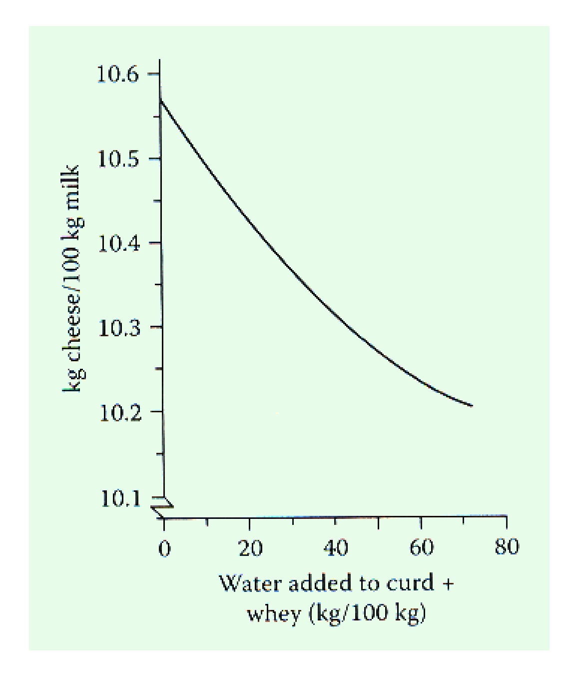
فوسفات الكالسيوم الغروية . وفي النهاية سوف تقل كمية البروتيوز بيبتون المحتجزة في جسيمات الباراكازين بانخفاض الأس الهيدروجيني .

إضافة كلوريد الكالسيوم Addition of Calcium Chloride : في أنواع عديدة من الجبن ، يضاف حوالي ملي مولر واحد من كلوريد الكالسيوم إلى لبن الجبن لكي يسرع معدل التجلط Clotting rate وهذا يؤدي إلى زيادة في الإنتاج بحوالي 0.3% ، وقد تم تحقيق ذلك عملياً .

فقد دقائق الخثرة وكريات الدهن Loss of curd fines and fat globules ، عندما يتحول اللبن إلى هلام له بعض الصلابة ، فإنه يقطع غالباً في شكل مكعبات ولنقل حافتها 15 مليمتر (15mm edge) . تميل كريات الدهن بالقرب من سطح القطع إلى الانتقال إلى الشرش . يقلب مخلوط الخثرة – الشرش بعد القطع ، وهذا يمكن أن يؤدي إلى بعض التكسير والكشط لحبيبات الخثرة ، والتي تسبب انتقالاً إضافياً لكريات الدهن ، بالإضافة إلى ذلك تتكسر شظايا صغيرة من حبيبات الخثرة ، وأيضاً دقائق الخثرة هذه تحرر في الشرش ، تميل الدقائق إلى أن يكون لها محتوى دهني منخفض ، تختلف الكميات المنقولة إلى الشرش بشكل واسع من 5 إلى 12% من الدهن ومن 0.2 إلى 1% من الباراكازين الموجود أصلاً في الخثرة .

تؤثر عدة عوامل على الفواقد Losses . إذا كان الهلام طرياً للغاية عند القطع يصبح عرضة للتكسير والتحكم فيه إلى حد ما ، وتكون الفواقد عالية . أما إذا كان الهلام صلباً للغاية فيمكن أن تتمزق القطع بدلاً من أن تقطع مؤدية إلى سطوح خشنة وكبيرة نسبياً ومنها تنفصل كريات الدهن ودقائق الخثرة ، وبالتالي تكون الفواقد كبيرة . يمكن أن تحدث الحالة الأخيرة أيضاً إذا كان معدل صلابة الهلام عالية ، وهذا يمكن أن يحدث مثلاً عندما نستخدم ترشيحاً فائقاً للبن مركز . يمكن أن يكون للخثرة الصلابة المطلوبة عند بداية القطع ، ولكن قبل أن ينتهي تصبح الصلابة عالية للغاية ، وعلاج ذلك هو أن نبطئ عملية التصلب بواسطة استخدام درجة حرارة

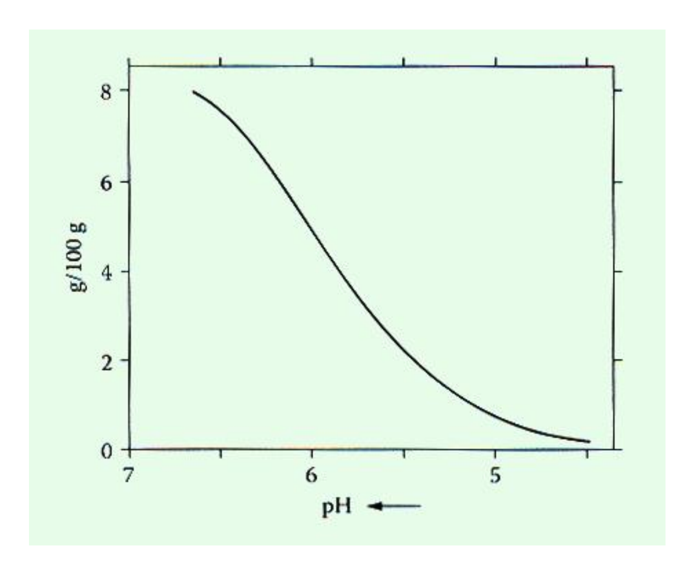
تجلط منخفضــة . فقد كريات الدهن ودقائق الخثرة يعتمدان بقوة على تصــميم ماكينة عمل الخثرة وعلى شــدة التقليب . لأنواع الجبن عالية الرطوبة أي الطرية تكون الفواقد أقل من الأجبان الصــلبة وشبه الصلبة .



شــكل 23.24 مثال لإنتاجية جبن جودا (عمر 12 يوم ، 41% ماء) كدالة على كمية ماء غســيل الخثرة . يفترض أن يكون المحتوى المائي والأس الهيدروجيني للجبن ثابتين

Figure 24.23 Example of the yield of Gouda cheese (12 d old, 41% water) as function of the quantity of curd-washing water used. Water content and pH of the cheese are assumed constant

وكما ذكر ســـابقاً ، لا يفقد الدهن في الشــــرش ، يمكن أن تجرى للشــــرش عملية طرد مركزي ، ويضــاف كريم الشــرش الناتج إلى لبن الجبن أو يســتخدم لعمل زبدة الشــرش . عادة تزال دقائق الخثرة باستخدام مناخل أو دوامات مائية .



شكل 24.24 كمية المكونات المعدنية المتعلقة بجسيمات الكازين (فوسفات الكالسيوم الغروية) بالجرامات لكل 100 جرام باراكازين كدالة على الأس الهيدروجيني . قيم متوسطات تقريبية

Figure 24.24 Quantity of mineral components associated with the casein micelles (the colloidal calcium phosphate) in grams per 100 g of paracasein as a function of pH. Approximate average values

الترشيح الفائق للبن Ultra filtration of the milk : وهذا تمت مناقشته في تحت فصل 3.4.24 . عادة ما يستخدم ترشيح فائق لتركيز منخفض ، لتقييس محتوى بروتين اللبن . ويؤدي ذلك إلى زيادة يمكن إهمالها لإنتاجية البروتين . وهذا يمكن أن يسبب زيادة فقد دقائق الخثرة وكريات الدهن كما ذكر سابقاً . يسبب التركيز العالي للكازينات أيضاً قدرة منظمة كبيرة ، وهذا يتطلب أن يكون التحميض بطيئاً ، إلا إذا اتبعت وسائل تصحيحية مثل إضافة بادئ أكثر .

الدنترة الحرارية لبروتينات المصل Heat denturation of serum protein : وكما ذكر في تحت فصل 2.2.2.7 ، الدنترة الحرارية للبيتا-لاكتوجلوبيلين تمكنه من التفاعل مع الكابا-كازين ويصبح متصلاً بجسيمات الكازين . يمكن أيضاً أن تصبح بروتينات المصل الأخرى متصلة نتيجة

للمعاملة الحرارية . وعلى ذلك يمكن أن تصـــبح بروتينات المصـــل المدنترة مندمجة في الخثرة عند التجلط وعمل الخثرة ، وبذلك تزيد من إنتاجية الجبن ، إلا أن التفاعل المذكور يقلل من التجلط بالمنفحة (انظر تحت فصــل 6.3.24) ومن التدميع Syneresis وكلما زاد ذلك فإن نســبة الدنترة ترتفع ، ويمكن أن يكون الوصــول إلى المحتوى المائي المطلوب للجبن صـعباً للغاية . تؤدي البســترة المنخفضـــة أي 20 ثانية عند درجة حرارة 72 مئوية ، كما هو متبع عادة للبن الجبن إلى 2% دنترة على الأكثر . تســتخدم معاملة حرارية أكثر شــدة في بعض الأحيان (إذا سمح بها) لزيادة إنتاجية الجبن ، حتى حوالي 20% دنترة التجلط Clotting والتــدميع Syneresis يمكن أن يكونـا مرضيين ، على شريطة أن تضبط ظروف عمل الخثرة . يتم تحقيق الزيادة في إنتاجية البروتين بحوالي 4% ، ومع ذلك فإن نضــج الجبن يميل إلى التوقف ، على الأقل بالنســبة لأصــناف الجبن المعتقة الصلبة وشبه الصلبة .

تكون إضافة بروتينات مصل مدنترة بالحرارة معاد نشاطها من شرش معامل حرارياً بشدة ممكناً ، وهذا لا يؤثر كثيراً على عمل الخثرة ويؤدي إلى إنتاجية أعلى . ومع ذلك فإن نوعية هذه الأجبان تكون متدنية إلى حد ما . إضـافة نسـبة قليلة من ألبان مسـخنة بشـدة إلى لبن الجبن مثل بادئ معتمد على اللبن أو طرد مركزي Bactofuge معقم بمعاملة حرارية فائقة ، لا يسبب مشاكل عند صنع الجبن ولا يقلل من جودته .

التجنيس Homogenization : يؤدي تجنيس اللبن إلى إنتاج كريات دهن صــــغيرة ، والتي يكون جزء كبير منها مغطى بجسيمات كازين (فصل 5.9) . تشارك أغلب هذه الكريات عند التجلط في تجمع الباراكازين وتكون الهلام . عند تقطيع الخثرة وتقليبها ، ينتقل دهن قليل إلى الشــرش بالمقارنة بما هو موجود في اللبن غير المجنس . الانخفاض الناتج من فقد الدهن لا يقدم زيادة في الربح . يجب أن يكون للجبن محتوى دهني عـادي ، ويمكن أن يزال الـدهن في الشـــرش من اللبن غير المجنس. لأغلب تشــكيلات الجبن يســبب التجنيس ملمســاً ونكهة غير مرغوب فيهما (يســرع التجنيس التحلل الدهني) .

التمليح Salting : يدمج الملح في الجبن بينما يفقد ماء أكثر ، تختلف النسبة بين كميات الماء المفقود والملح المكتسب بشكل واسع ، تمت مناقشة العوامل المؤثرة على هذه العمليات في فصل 6.24 .

يؤدي التمليح الجاف إلى فقد الشرش عند خلط الخثرة والملح وعند الكبس ، وما يسمى بالشرش الأبيض white whey يحتوي على كميات كبيرة من الملح ، مواد الشرش المذابة وبه محتوى دهني أعلى من الشرش الأول ، أي 2.6% مقابل 0.4% ، معادلة لـ 10% من الدهن المفقود في الشرش .

المعالجة Curing : يفقد الجبن وزناً أثناء المعالجة ، أولاً بواسطة بخر الماء إلى حد ما اعتماداً على حجم الرغيف ، التغطية وظروف التخزين (انظر تحت فصل 2.7.24) . الأصناف varieties التي تعرضت لتكسير بروتيني شديد أثناء النضج تفقد أيضاً أمونيا وثاني أكسيد الكربون ، فقد الوزن الحادث يكون عادة صغيراً للغاية ، بالإضافة إلى ذلك تزداد كمية المادة الجافة ، لأن كل رابطة ببتيدية تتحلل مائياً ينتج عنها امتصاص لجزيء من الماء .

2.8.24 الإنتاجية *Yield*

الإنتاجية ، يمكن أن يعبر عنها بطرق مختلفة . التعريف الأكثر شيوعاً هو ، كتلة الجبن بالكيلوجرام التي تم الحصول عليها من كل 100 كيلوجرام لبن . يجب أن يشمل اللبن البادئ المضاف . مع هذه الكمية هناك صعوبة وهي أن المحتوى المائي للجبن يكون مختلفاً للغاية ، وعلى ذلك تعرف الإنتاجية بكتلة المادة الجافة في الجبن المتحصل عليه من 100 كيلوجرام من اللبن ، أو يمكننا إعادة حساب الإنتاجية لجبن به محتوى مائي قياسي . إذا كان المطلوب قياس كفاءة عملية صنع الجبن ، يكون من المفيد أن نحسب كتلة بروتين الجبن المتحصل عليها لكل وحدة كتلة من لبن (البارا) كازين .

من الصعب أن تثبت وترسخ كتلة الجبن المتحصل عليها . أولاً يمكن أن تكون مشكلة أن تجمع وتزن بدقة كل الأجبان الناتجة من دفعة معينة من لبن الجبن . ثانياً ، يميل الجبن إلى نقص في

الوزن بعد عملية الكبس والتمليح ، المعدل الذي يحدث عنده هذا يختلف كثيراً بين أصـــناف الجبن مع ظروف التخزين . ولذلك فإنه من المستحسن وزن الأجبان عند وقت محدد، بعد فترة قصيرة من الكبس أو التمليح . ثـالثـاً ، يمكن أن تحـدث الفواقـد الفيزيـائيـة (الخثرة المفقودة في الآلـة ، القطع المكسـورة من أرغفة الجبن) ، والمادة غير اللبنية المضـافة (التوابل أثناء صـنع الجبن، المادة المغلفة بعد ذلك) .

من المفيد عادة اعتبار وجود معادلة تنبؤية لإنتاجية الجبن ، معادلات عديدة تم استنتاجها مثل :

$$Y = \frac{aF + bc}{1 - w} + R \qquad (24.5)$$

حيث Y الإنتـاجية (كيلوجرام لكل 100 كيلوجرام من اللبن) ، F المحتوى الدهني ، و c محتوى كازين اللبن (النســبة وزن/وزن) ، a جزء من دهن اللبن الذي اندمج داخل الجبن ، و b بالنســبة للكازين ، W المحتوى المائي للجبن (جزء الكتلة) ، و R هي كمية المادة الجافة الأخرى في الجبن (كيلوجرام لكل جرام جبن) . يمكن تقدير F و c في اللبن مســـبقاً ، Y و W يجب أن يكونا للجبن النهائي . لكي نحسـب الإنتاج القياسـي Y^* للمحتوى المائي القياسـي W^* فإننا نسـتخدم المعادلة :

$$Y^* = Y(1 - W) /(1 - W^*) \qquad (24.6)$$

المشكلة هي إيجاد قيم a و b و R . في الأساس تتكون a من عاملين :

أ- أن نحول المحتوى الدهني إلى محتوى المادة الجافة لكريات الدهن ، حوالي 1.02 .

ب- لحسـاب فقد الدهن إلى الشـرش ، تختلف بشـكل واسـع ، مثلاً 0.91 بالجمع سـوف تكون قيمة $a = 0.93$. تعتمد قيمة العامل b على متغيرات عديدة خاصة :

a. انفصال الـ CMP من الكابا-كازين ، قيمة العامل حوالي 0.95 .

b. تحلل البروتين قبل انفصال الخثرة ، عامل متغير بصورة واسعة فمثلاً 0.97 .

c. تتغير الـــ CCP والبروتينات القليلة المتصلة بالجسيمات بشكل واسع ، وتعتمد خاصـــة على الأس الهيدروجيني للخثرة عند لحظة انفصـــال الخثرة ، مثلاً عامل قدره 1.055 .

بالجمع سوف يعطي قيمة $b = 0.97$

الرمز المتبقي R هو مجموع المكونتان الأساسيتان :

أ- المادة الجافة لمكونات المصـــل الذائبة التي تصـــل الجبن ، وهذه تكون للجزء الأكبر لاكتوز ومنتجاته الانحلالية ، وأيضـاً أملاح اللبن ، والأحماض العضـوية وبعض الأسـترات ، ... إلخ والتي يمكن أن تقـدر بحوالي 0.02 كيلوجرام لكـل كيلوجرام ، ولكنهـا تعتمـد على قيمـة w وعلى مدى غسيل الخثرة .

ب- الملـح المـمتـص في الجبـن ، يكـون مثـلاً حـوالي 0.02 كـيلـوجـرام لـكــل كـيلـوجـرام ، ولكنهــا متغيرة بين أصـــنــاف الجبن . ســـوف يكون المجموع $R = 0.04$ كيلوجرام لكـل كيلوجرام جبن . تعتمـد الثوابـت معـاً في المعـادلـة بقوة على أصـــنـاف الجبن ، وقليلاً على مكون اللبن الخـام ، وعلى التغير في الظروف أثنـاء العمليـة . ولكـي نتـأكـد من أن تغيراً غير لازم قـد حـدث ، فـإنـه يمكن مقـارنـة الإنتـاج الحـالي مع الإنتـاج المتوقع ، حيث تم الحصـــول على قيم الثوابت من نتائج الدفعات الســـابقة بواســـطة تحليل الانحدار Regression analysis . وســـوف يكون مفيداً أيضـــاً أن نحدد محتوى الملح في الجبن ، لأن ذلك يسـمح بتقدير جيد لقيمة R . مثل هذا التحليل سـوف يضيف نتائج حسـاب الخطأ المعياري الحادث ، عندما يكون الفرق بين الناتج المشـاهد Observed والمتوقع Predicted أكبر من ضـعف الخطأ المعياري ، فإنه يكون من المفيد أن نحاول إيجاد الخطأ الذي حدث . تحت فصـل 1.8.24 يعطي معلومات أسـاسـية يمكن منها أن نعرف السبب .

3.8.24 تقييس اللبن *Standardizing the Milk*

كما ذكر في تحت فصـــل 2.1.24 يمكن أن يكون لبن الجبن مقيســـاً لمحتوى البروتين (أو حتى الكازين) بواســـطة إضـــافة محتجز الترشـــيح الفائق للبن الفرز Skim milk uf retentate والغرض من ذلك هو المراقبة الجيدة للعملية .

أيضـــاً ، يجب أن يكون المحتوى الدهني مقيســـاً لكي نحصـــل على FDM المطلوب أي المحتوى الدهني في المادة الجافة للجبن ، طبقاً للمعادلة 5.24 ، FDM ســـوف تحســـب من $aF/(1-w)$ ، ولكن w ليست معروفة سلفاً .

عندما يستخدم تحكم منتظم للإنتاجية ، وإذا تم تثبيت عملية تصنيع صنف جبن معين ، فإنه يمكن عمل علاقة بين نسـبة F/c في اللبن وFDM في الجبن ، يمكن أن تكون العلاقة جيدة للغـايـة . (يمكن أن تعين قيمـة C من تحـاليـل الأشـــعـة تحـت الحمراء للبن الخـام والشـرش المتحصـل عليه منها) ، ويسـمح هذا بتقييس المحتوى الدهني . إذا طلب حد أقل قانوني Legal minimum فيجب تحديد حد أمان صـــغير ولنقل 1% FDM يكون هذا الحد مطلوباً أيضاً لأن المادة الجافة غير الدهنية في الجبن تزداد نتيجة للتحلل البروتيني Proteolysis .

ومن الدارج ، اســـتخدام أجهزة تقييس الكترونية للبن الجبن والتي تأخذ في الاعتبار عدة متغيرات .

مراجع مقترحة ***Suggesd Literature***

جوانب هامة لخطوات تصنيع مختلفة :

P.F. Fox, P.L.H. McSeeney, T.M.Cogan and T.P. Guinee, Eds, Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology, Vol. 1, General Aspects. 3rd ed, Elsevier Academic Press, London, 2004, Chapters on 'Rennet-induced Cogulation of milk', 'The syneresis of rennet-coagulated curd' ; Starter cultures', salt in cheese, and Application of membrane technology to cheese production.

بعض الاتجاهات في عمليات التصنيع :

R.K. Robinson, Ed., Modern Dairy Technology, Vol. 2, Advances in Milk Products, 2nd ed., Elsevier, London, 1993.

جوانب التقييس والإنتاجية تم مناقشتها باستفاضة في تقرير IDF :

Cheese Yield and factors affecting its control, Proceedings of the IDF Seminar, Cork, April 1993, International Federation, Brussels, 1994; D.B. Emmons, Ed., Practical Guide for Control of Cheese Yield, International Dairy Federation , Brussels.